

Jacek RODZEŃ

Instytut Bibliotekoznawstwa i Dziennikarstwa,
Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce

NIE WSZYSTKO ZACZEŁO SIĘ OD BUNSENA I KIRCHHOFFA – NIEZNANE WĄTKI WCZESNEJ HISTORII SPEKTROSKOPU OPTYCZNEGO (1810–1860)

We współczesnej nauce i technice zróżnicowane rodzaje spektroskopów, spektrometrów i spektrografów są bodajże jedną z najbardziej rozpowszechnionych oraz najwszechstronniej wykorzystywanych rodzin aparatury naukowej. Wystarczy wspomnieć, stosowane chociażby w diagnostyce medycznej, tomografy NMR, umieszczane na sondach kosmicznych spektrografy rentgenowskie, poszukujące oznak życia w dalekim kosmosie, czy też szeroko wykorzystywane w analityce chemicznej i biologii molekularnej spektrometry mas. Z punktu widzenia historii nie jest odosobniona opinia, iż spektroskop optyczny można uważać za jeden z najważniejszych przyrządów badawczych, który decydował o losach nauki w XIX wieku (por. Turner 1998, s. 110). Jego znaczenie dla rozwoju licznych dyscyplin wiedzy przyrodniczej i technicznej porównywane bywa z osiągnięciami naukowymi, które stały się możliwe po wynalezieniu i rozpowszechnieniu lunety w XVII stuleciu.

Mimo niewątpliwego znaczenia spektroskopu dla rozwoju nauki i techniki XIX- i XX-wiecznej, jego geneza jest mało znana, a w rzeczywistości także mało poznana. Zwykle, idąc za opiniami zawartymi w literaturze popularnonaukowej, jak i niektórymi opracowaniami z zakresu historii nauki, powtarza się stwierdzenie o wynalezieniu spektroskopu przez dwóch niemieckich przyrodników: Roberta W. Bunsena (1811–1899) i Gustava R. Kirchhoffa (1824–1887). Chcąc ukazać ich zasługi dla dalszego rozwoju spektroskopii, niniejsze studium próbuje także dokonać istotnej rewizji wyobrażeń na temat ich rzeczywistego wkładu do genezy aparatu spektroskopowego i zarazem przedstawić zarys, opartej na badaniach źródłowych, ewolucji tego rodzaju aparatury w latach 1810–1860, a więc w okresie obejmującym pół wieku przed wspólnymi obserwacjami widma wykonanymi przez obydwu niemieckich uczonych.

W pierwszej części tej pracy zostaną przytoczone przykłady opinii przypisujących, jak się okaże – niezgodnie z istniejącymi świadectwami historycznymi, obu niemieckim przyrodnikom wynalazek spektroskopu jako przyrządu naukowego i zarazem urządzenia technicznego. Zostanie również krótko przeprowadzona krytyczna analiza stanu dostępu do źródeł oraz zawartości opracowań dotyczących początków spektroskopu w latach 1810–1860. W drugiej części zostaną zwięźle omówione rzeczywiste zasługi Bunsena i Kirchhoffa dla spektroskopii. Przybliżona będzie także budowa i działanie ich pierwszego aparatu do obserwacji widma. W trzeciej części będą przedstawione trzy typy aparatu spektroskopowego, wynalezione przez niemieckiego optyka i fizyka Josepha Fraunhofera (1787–1826) w latach 1810–1823. W części czwartej zostaną wymienione kolejne etapy ewolucji tego rodzaju aparatury, wypełniające okres od 1823 do 1860 r. W końcu, w piątej i ostatniej części niniejszego studium zostanie postawione pytanie o korzenie konstrukcji pierwszych aparatów do obserwacji widma. Formułując próbną odpowiedź na to pytanie, sięgniemy do rozwiązań przyrządów obserwacyjnych i pomiarowych wykorzystywanych w praktyce przed rokiem 1810.

1. Między mitem a prawdą w historiografii spektroskopu

Spróbujmy najpierw prześledzić, z jakimi opiniami na temat wynalazku spektroskopu optycznego i jego genezy możemy się spotkać podczas lektury współczesnego piśmiennictwa przyrodniczego i historyczno-naukowego. Następnie omówimy tę samą kwestię w krótkim przeglądzie historycznej literatury XIX-wiecznej, dotyczącej spektroskopii i jej dziejów, ale po krótkim krytycznym ustosunkowaniu się do stanu źródeł do badań genezy aparatury spektroskopowej. Na koniec kilka słów poświęcimy zasadności poszukiwań „prawdziwego wynalazcy” spektroskopu.

Na początku przytoczmy stwierdzenie zawarte z renomowanym tytule *The Cambridge History of Science* (t. 5). W jego części, poświęconej optyce XIX-wiecznej, znany historyk nauki i techniki Sungook Hong (2002, s. 282) podał następującą informację: „Kirchhoff i Bunsen skonstruowali pierwszy spektroskop w 1860 r.”¹. Z kolei Keith J. Laidler (1916–2003), wybitny amerykański chemik, a także historyk chemii i jej popularyzator, pisał w *The world of physical chemistry*: „Wynalazek spektroskopu, dokonany przez Bunsena i Kirchhoffa w 1859 r., prowadził do uzyskania ogromnej ilości informacji o liniach widmowych różnych substancji” (Laidler 2001, s. 182). „Potwierdził” to jeden z nielicznych znawców wczesnych dziejów spektroskopii i znany historyk nauki Frank A.J.L. James (1998, s. 563), pisząc w cenionej encyklopedii przyrządów naukowych: „Pierwsze spektroskopy zostały wykonane przez R. Bunsena i G. Kirchhoffa w Niemczech w 1859 r.”

¹ Cytaty, jeśli nie podano inaczej, przełożył J. Rodzeń.

Przywołajmy jeszcze jedną opinię: „by ułatwić swoje badania z zakresu analizy spektroskopowej, Bunsen i niemiecki fizyk Gustav R. Kirchhoff wynaleźli przyrząd nazywany spektroskopem. Chociaż od początku wieku [XIX – J.R.] istniały już pierwotne formy spektroskopów, ich wynalazek (ca. 1860) reprezentuje podstawową konstrukcję (*design*) bardziej współczesnej formy tego przyrządu” (Windelspecht 2003, s. 203).

Interesujące wyznanie złożył ostatnio amerykański spektroskopista David W. Ball (2010, s. 17): „Kirchhoff i Bunsen faktycznie nie wynaleźli spektroskopu, jak się powszechnie przypuszcza (nawet niniejszy autor). W rzeczywistości spektroskop został wynaleziony przez niemieckiego optyka Josepha von Fraunhofera”. Cztery lata wcześniej, w półpopularnym kompendium podstawowej wiedzy o spektroskopii współczesnej można było znaleźć następującą informację tego samego autora: „Uznaje się powszechnie, że spektroskop został wynaleziony przez G. Kirchhoffa i R. Bunsena ok. 1860 r.” (Ball 2006, s. 2). Ball nie podał żadnego uzasadnienia dla zmiany swojego poglądu na wynalazek spektroskopu, niemniej jednak ten przypadek zdaje się ilustrować pewien stan umysłów przynajmniej części przyrodników, a także niektórych historyków nauki, zdezorientowanych w swoich poglądach z racji określonych braków w aktualnej historiografii spektroskopii. Dlatego próba uzupełnienia tych braków, usunięcia „luki historiograficznej”, a co za tym idzie wprowadzenia pewnego ograniczenia na szerzącą się mitologię rzekomego wynalazcy(-ów) spektroskopu, jak można sądzić, będzie wysoce pożądana.

Na jakich podstawach będzie można zatem oprzeć nasze poszukiwania „prawdziwego wynalazcy” aparatu spektroskopowego?² W kolejnych trzech częściach niniejszego studium, zarówno odpowiednie źródła historyczne, jak i oparte na nich wnioski zasadniczo będą dotyczyć okresu od 1810 do 1860 r. („między Fraunhoferem a Bunsenem i Kirchhoffem”). W ostatniej części pracy wyjdziemy poza rok 1810, poszukując jeszcze wcześniejszych korzeni konstrukcyjno-instrumentalnych dla omówionych wcześniej typów przyrządów spektroskopowych. Ze względu na specyfikę przedmiotu naszego zainteresowania (artefakty materialno-technologiczne), można mówić o trzech podstawowych grupach źródeł historycznych: 1) egzemplarzach (lub ich zachowanych fragmentach) odpowiednich przyrządów, zgromadzonych w zbiorach muzealnych; 2) katalogach wytwórców przyrządów (zawierających opisy techniczne oraz ilustracje); 3) piśmiennictwie (opublikowanym i nieopublikowanym) przyrodników wykorzystujących aparaturę do swoich badań.

² W niniejszym opracowaniu, z racji jego ograniczonej objętości, jedynie przybliżę drogę, prowadzącą od dostępnych świadectw historycznych do sformułowania określonych wniosków i hipotez, dotyczących ewolucji wczesnych typów przyrządów, służących do obserwacji widma. Dlatego w jego dalszych częściach zarysuję tylko związane z tym problemem główne idee, które znajdą swoje pełne omówienie w innej, znacznie obszerniejszej pracy.

Co do pierwszej grupy, należy stwierdzić, że poza kilkoma egzemplarzami oryginalnych aparatów spektroskopowych Fraunhofera (zob. Brachner, Seeberger 1976), żadne inne oryginalne egzemplarze późniejszych przyrządów tego rodzaju, omawianych dalej w niniejszym opracowaniu, nie zachowały się do dnia dzisiejszego. Nie dysponujemy nawet oryginalną aparaturą, za pomocą której swoje pierwsze obserwacje widma przeprowadzili Bunsen i Kirchhoff (por. Hennig 2003b, s. 744). Z kolei w katalogach przyrządów naukowych spektroskopii i spektrometri zaczęły się pojawiać jako artykuły handlowe dopiero po 1860 r., a więc po rozpowszechnieniu informacji o wynikach obserwacji Bunsena i Kirchhoffa. Jednym z pierwszych, jeśli nie pierwszym takim wydawnictwem, był katalog Moritza Meyersteina (1808–1882) (Meyerstein 1860, s. 304). W katalogach datowanych przed rokiem 1860, głównie francusko-, anglo- i niemieckojęzycznych, można spotkać się jedynie z opisami instrumentów goniometrycznych (w zasadzie tylko goniometru typu Babineta) lub teodolitów, które do tego roku bywały wykorzystywane w funkcji spektroskopu (zob. np. katalog Lereboursa i Secretana 1853, s. 123).

Tak więc z przeprowadzonej tutaj bardzo pobieżnej i wręcz ogólnikowej, choć realnie i względnie poprawnie ukazującej aktualną sytuację, analizy świadectw historycznych wynika, iż w zasadzie podstawowym źródłem do dziejów pierwszych spektroskopów optycznych będzie piśmiennictwo tych badaczy, którzy tą aparaturą posługiwali się przed 1860 r. i wyniki swoich prac albo publikowali w ówczesnych periodykach naukowych (rzadziej książkach), albo zamieszczali je w pismach niepublikowanych (np. korespondencji). W identyfikacji i dotarciu do tych źródeł bardzo pomocne okazały się wczesne opracowania historyczne, po raz pierwszy porządkujące wydarzenia istotne dla nowej gałęzi badań, jaką po 1860 r. stała się spektroskopia. Ważne miejsce w tych poszukiwaniach zajmują także nieliczne XIX-wieczne bibliografie prac związanych z badaniami widma³. Dlatego w tym miejscu spróbujemy krótko zorientować się, jakimi możliwościami w zakresie tego typu piśmiennictwa (źródeł wtórnych) dysponujemy, chcąc uzyskać obraz wczesnych dziejów spektroskopii i spektroskopów.

Pierwsze próby historycznego ujęcia początków spektroskopii, dokonane przez samych badaczy widma, pojawiły się tuż po ukazaniu się wspólnych publikacji Bunsena i Kirchhoffa. Miały one charakter retrospekcyjny, podyktowany przede wszystkim celem wyraźnej apologetycznym, dla uwypuklenia zasług własnych, własnego środowiska badawczego, a nawet określonej nacji (por. Hentschel 2003a, s. 5). Ta niejako pierwsza faza syntetycznych opracowań historycznych trwała zaledwie kilka lat i dość szybko też straciła na pierwotnej dyna-

³ Z obszerniejszych dawnych bibliografii można wymienić prace Alfreda Tuckermanna (1888; 1902) i Juliusa Scheinera (1890, s. 436–442), a także opracowany przez Royal Society „Inwentarz tekstów naukowych” za lata 1800–1900 (McLeod 1912). Bodajże najlepszym, choć także niepozbawionym słabości, współczesnym spisem prac z zakresu spektroskopii XIX-wiecznej jest bibliografia podana przez Hentschela (2002a, s. 473–549).

mice. Można przyjąć, że obejmowała ona lata 1861–1863. W zasadzie składają się na nią tylko trzy artykuły przeglądowe: Francesca Zantedeschiego (1797–1873), Williama A. Millera (1817–1870) i samego Kirchhoffa (1863) (nie podjął on w ogóle tematu aparatury spektroskopowej). Pierwszy i trzeci starali się bronić głównie własnych dokonań na polu spektroskopii, Miller z kolei podkreślał znaczenie badań przyrodników brytyjskich (autor ten tylko wspomniął o ulepszeniu spektroskopu przez Swana i Massona – zob. Miller 1862, s. 406). Tylko Zantedeschi (1861) podjął temat pierwszeństwa w konstrukcji pierwszych aparatów spektroskopowych (i zwrócił uwagę na własną konstrukcję spektrometru z 1856 r.).

Druga faza rozwoju opracowań wczesnych dziejów spektroskopii przypada w przybliżeniu na lata 1863–1900 i łączy się z ciągiem publikacji książkowych, które można określić mianem „tradycji podręcznikowej”⁴. Stanowiła ona wyraz nie tylko pierwszych fascynacji możliwościami, jakie niesły ze sobą obserwacje widm, ale także rozwijanej niezwykle dynamicznie praktyki, omawianej i kodyfikowanej w postaci możliwej do odtworzenia zarówno przez wytrawnych badaczy, jak i adeptów sztuki badań spektroskopowych. Oprócz wielu cennych informacji, głównie praktycznych, zawierały one także bądź wstępy, bądź bardziej rozproszone informacje na temat wcześniejszych badań i osiągnięć. Pierwszymi tego typu publikacjami były: w języku niemieckim praca Gabriela G. Valentina (1810–1883) (Valentin 1863), we francuskim Louisa N. Grandeau (1834–1911) (Grandeau 1863), w angielskim Henry’ego E. Roscoe (1869). Rodzajem zwieńczenia tej fazy było ośmiotomowe dzieło Heinricha Kaysera (1853–1940) (Kaysers 1900), obejmujące całokształt dorobku spektroskopistów XIX wieku, którego pierwszy tom zawierał niemal stustronicowy przegląd stosowanej w tym czasie aparatury (autor wymienił w nim nazwiska Simmsa i Babineta jako autorów ulepszenia aparatu spektroskopowego wprowadzonego w 1839 r., nie nazwał natomiast Bunsena i Kirchhoffa mianem wynalazców – tamże, s. 490–492)⁵.

Pierwsza połowa XX wieku co prawda przyniosła ogromny rozwój zastosowań różnych, zwłaszcza nowo powstałych, metod spektroskopowych, nie ukazało się jednak żadne znaczące, obszerniejsze opracowanie dotychczasowych dziejów badań widmowych. Dopiero przełom lat 50. i 60. zaowocował najpierw kilkoma publikacjami historycznymi o charakterze raczej okolicznościowo-jubileuszowym, związanymi z przypadającą w tych latach setną rocznicą ugrunto-

⁴ Jest to wyrażenie zapożyczone co prawda od Bennetta (1984, s. 9), ale obejmujące szerszy i bogatszy w piśmiennictwo okres w dziejach spektroskopii.

⁵ Z tego rodzaju literatury należałoby wymienić jeszcze dwa podręczniki do badań spektroskopowych, zawierające zwłaszcza ważne informacje dotyczące stosowanej wcześniej aparatury oraz podkreślające znaczenie kolejnych istotnych ulepszeń. Są to prace Heinricha Schellena (1818–1884) (Schellen 1870; 1872) i J. Normana Lockyera (1836–1920) (Lockyer 1873; 1887). Szczególnie Lockyer (1873, s. 21, 23, 25) podkreślił znaczenie kolejnych ulepszeń aparatu spektroskopowego (tzn. wprowadzenia kolimatora) przez Simmsa, nie uważał natomiast przyrzędu Bunsena i Kirchhoffa za wynalazek.

wania analizy spektrochemicznej pracami Bunsena i Kirchhoffa (zob. np. Junkes 1962; Dingle 1963). Natomiast od 1969 r., a więc od opublikowania pierwszej współczesnej monografii na temat dziejów spektroskopii w XIX wieku, autorstwa Williama McGuckena (1969), można mówić o poważniejszym zainteresowaniu się tą tematyką ze strony historyków nauki. Nieco później, w latach 80., nastąpiło wyraźne ożywienie tego zainteresowania, co zaowocowało zwłaszcza serią publikacji poświęconych wczesnym dziejom spektroskopii w pierwszej połowie XIX wieku pióra Franka Jamesa (np. 1983a; 1983b; 1985a; 1985b), a także pracami Clifforda L. Maiera (1981), Jamesa A. Bennetta (1984), Michela Saillarda (1988) i Johna B. Hearnshawa (1989)⁶.

Wyliczając wyżej wymienione publikacje, można odnieść wrażenie, że w historiografii spektroskopii nastąpił swoisty przełom badawczy. Rzeczywiście, nagły wzrost liczby prac poświęconych tej tematyce był imponujący i nie powtórzył się już w przyszłości. Nas jednak, zainteresowanych przede wszystkim ewolucją wczesnego instrumentarium spektroskopowego, niestety, może on rozczarować. W istocie niemal wszystkie dotychczasowe publikacje (a jest to stan na rok 2011) poświęcone historii spektroskopii XIX-wiecznej dotyczą dziejów jej strony teoretyczno-eksplanacyjnej. Najlepiej o tym mówią już same tytuły wspomnianych prac. Natomiast tylko bardzo nieliczne z nich, jak dotąd, podejmowały wprost – choć, jak się wydaje, też jedynie zdawkowo – zagadnienie samej aparatury spektroskopowej. W tym krótkim opracowaniu nie ma miejsca na bardziej szczegółową próbę wyjaśnienia tego stanu rzeczy. Można tylko dopowiedzieć, iż ma on związek z ogólniejszą i, jak się wydaje, także doniosłą kwestią zakresu podejmowania przez XX-wieczną historiografię nauki tematyki przyrządów badawczych i ich znaczenia dla historycznego rozwoju nauk przyrodniczych⁷.

Powracając do opracowań, które do chwili obecnej podjęły w jakimś stopniu kwestię rozwoju XIX-wiecznego instrumentarium spektroskopowego, w szczególności pierwszych typów aparatów powstałych przed 1860 r., należy stwierdzić, że jest ich dosłownie kilka. Pierwszym jest, wspomniana już, praca Bennetta (1984), licząca niespełna 20 stron i zasadniczo stanowiąca jedynie wydawnictwo towarzyszące okolicznościowej ekspozycji muzealnej (Bennett m.in. sugeruje w nim kontrowersyjną tezę o zasadniczym postępie w budowie spektroskopów dopiero w latach 70. XIX wieku). Drugim jest, zupełnie zapomniany, ważny, choć krótki artykuł D. Thorburna Burnsa (1988) (autor ten jako pierwszy współcześnie zwrócił uwagę na aparaty o konstrukcji podobnej do aparatu Bunsena i Kirchhoffa, ale istniejące już od końca lat 30. XIX wieku). I w końcu mamy niedawno

⁶ Warto dodać, że w latach 80. XX wieku na krótko rozgorzał pierwszy spór między historykami – dokładnie między Jamesem (1985b; 1986) a Michaelem A. Suttonem (1986) – na temat znaczenia wkładu przyrodników brytyjskich w rozwinięcie metody analizy spektrochemicznej, w okresie przed wspólnymi pracami Bunsena i Kirchhoffa.

⁷ Szerzej na ten temat zob. np. Rodzeń 2009, s. 185–188; 2010, s. 88–90.

wydaną pracę, również wspomnianego już Hearnshawa (2009), koncentrującą się głównie na dziejach spektrografów astronomicznych w XIX i XX wieku, ale tylko na kilku stronach prezentującą rozwój aparatury przed rokiem 1860. Do tego można dołączyć prace Henniga (2003a; 2003b), skupiające się wyłącznie na aparatach spektroskopowych Bunsena i Kirchhoffa, oraz biografię naukową Kirchhoffa autorstwa Klaus Hübnera (2010), zawierającą także szczegółowe, oparte na źródłach, omówienie obserwacji widmowych obydwu niemieckich uczonych⁸.

Jak się więc można przekonać, z jednej strony istnieją wstępne sygnały, płynące tak z literatury XIX-wiecznej, jak i częściowo współczesnej, sytuujące genezę aparatury służącej do obserwacji widma świetlnego kilkadziesiąt lat przed pracami Bunsena i Kirchhoffa; z drugiej strony współczesne piśmiennictwo przyrodnicze i historyczne pełne jest równie kategorycznych, co – jak się okaże – nieuzasadnionych stwierdzeń, widzących w tych dwóch niemieckich uczonych prawdziwych wynalazców spektroskopu. Dlatego za zasadne należy uznać przekonanie, że w zaistniałej sytuacji, czegoś w rodzaju pojawiającej się „luki historiograficznej”, jako niezbędne jawi się dociekanie faktycznych początków aparatury spektroskopowej.

Konkludując, można stwierdzić, że poza istniejącymi opracowaniami historycznymi technik obserwacyjnych i pomiarowych oraz związaną z nimi aparaturą, wykorzystywaną z jednej strony przez Fraunhofera w latach 1810–1823 – głównie badania Riekhera (2009), także Jacksona (2000); z drugiej zaś Bunsena i Kirchhoffa w latach 1859–1860 – badania Henniga, we współczesnej literaturze historycznej nie ma, jak dotąd, żadnego, opartego na źródłach, systematycznego opracowania poświęconego rozwojowi tego rodzaju aparatury między rokiem 1823 a 1860. Można w chwili obecnej tylko przypuszczać, że brak takiego opracowania przyczynił się w jakiejś mierze również do rozpowszechnienia i utrwalenia mitu historiograficznego, głoszącego, jakoby wynalazcami spektroskopu optycznego byli Bunsen i Kirchhoff. Być może w tej perspektywie zaistniał swoisty efekt psychologiczny, który mógł „uśpić czujność” historyków. Jeśli mianowicie dwaj niemieccy uczeni są powszechnie uważani za wynalazców spektroskopu (głównie w związku z ich dokonaniem na polu analizy spektrochemicznej), wówczas nie istnieje zasadna potrzeba, by nadal poszukiwać jego prawdziwego wynalazcy.

⁸ Ani Hennig, ani Hübner nie przypisują wynalezienia spektroskopu Bunsenowi i Kirchhoffowi, nie wypowiadają się także na temat historycznego pierwszeństwa w tym dokonaniu. Z drugiej strony w korespondencji (z listopada 2008 r.) autora niniejszego opracowania z Hennigiem, na zapytanie o ewentualne znaczenie wcześniejszych konstrukcji spektroskopowych Simmsa, Zantedeschiego i Meyersteina, niemiecki historyk odpisał: „co do podanych nazwisk konstruktorów, niestety, nie mam związanego z nimi żadnego wyobrażenia [*keine Ideen*]”.

2. Co zaczęło się od Bunsena i Kirchhoffa?

Proces oddzielania drogiego ziarna prawdy historycznej od plew zniekształcających ją wyobrażeń mitologicznych jest zajęciem tyle żmudnym, co niebezpiecznym. Owo niebezpieczeństwo zwykle polega na tym, że trwałość mitu wyrosłego na gruncie domorosłej historiografii zazwyczaj bywa broniona z pogwałceniem fundamentalnych zasad odpowiedniej metodologii. Z kolei przekonanie do akceptacji z trudem osiągniętej prawdy może stanowić barierę nie do przejścia dla zwolenników przyjętego powszechnie i umocnionego tradycją prostego mitycznego schematu. Historiografia nauki i techniki, niczym nie różniąc się w tej kwestii od innych historiografii szczegółowych, wręcz na co dzień zderza się z trudnymi do przewyciężenia mitami, związanymi tak z doniosłymi wydarzeniami z dziejów aktywności naukowej i technicznej, jak i ze stojącymi za nią postaciami. Do klasyki tego typu mitologii, urastającej do rangi symbolu, niestety nadal można zaliczyć rozpowszechnione opinie na temat rzekomych tortur Galileusza (1564–1642), zakończonych śmiercią na stosie, czy też „męczeństwa w imię nauki” Giordana Bruna (1548–1600)⁹.

Opinie mitologizujące nie ominęły także wyobrażeń na temat początków spektroskopii, w szczególności genezy zasadniczego dla tej transdyscyplinarnej dziedziny praktyki obserwacyjnej i pomiarowej przyrządu, którym jest spektroskop optyczny¹⁰. Podjęty w niniejszym studium problem mitologii, związanej z wynalazkiem spektroskopu, traktowanego nie tylko jako przyrząd naukowy, ale także wytwór techniki, oraz jej iluzoryczność w konfrontacji z dostępnymi świadectwami historycznymi odnosi się głównie do prac Bunsena i Kirchhoffa. Nie uprzedzając jednak zaprezentowanego w dalszych jego częściach toku myślowego, na wstępie spróbujemy odpowiedzieć na pytanie, co na polu nauk przyrodniczych faktycznie zaczęło się od obserwacji spektroskopowych, przeprowadzonych przez obydwu niemieckich uczonych. Dopiero w świetle przywołanych faktów będziemy mogli spróbować szerzej wyjaśnić, czego Bunsenowi i Kirchhoffowi nie powinno się przypisywać, by nie przyłożyć kolejny raz ręki

⁹ O problemach związanych z procesem demaskacji tego rodzaju mitów historiograficznych traktuje np. praca wydana pod redakcją Ronalda L. Numbersa (2010). Na temat rozmaitych mitów, które otaczają od dziesięcioleci dzieje fizyki, zob. także książkę Andrzeja K. Wróblewskiego (1987). W niniejszym opracowaniu nie posługujemy się pojęciem mitu zaczerpniętym z religioznawstwa bądź kulturoznawstwa, lecz potocznym – jako wyobrażenia lub opinii z gruntu fałszywej. Jeśli natomiast uściślimy to rozumienie, dodając, że określony mit powstał m.in. z braku odpowiednich badań źródłowych, można go wówczas określić mianem historiograficznego.

¹⁰ W swojej pracy na temat kultury wizualnej w dziejach spektroskopii Klaus Hentschel (2002a, s. 420–425), jak się wydaje, przekonująco uzasadnił twierdzenie, że spektroskopia nie była nigdy autonomiczną dyscypliną naukową, lecz rodzajem technologii badawczej (*research technology*), wykorzystywanej w różnych dyscyplinach nauki i techniki; zob. także rozwinięcie tej kwestii w artykule Hentschela (2002b, s. 589–600).

do związanego z ich pracami, a – niestety – utrwalonego we współczesnym piśmiennictwie mitu historiograficznego.

W 1851 r. 39-letni Bunsen poznał na Uniwersytecie Wrocławskim o 13 lat od siebie młodszego Kirchhoffa, który objął tam akurat stanowisko profesora fizyki. Student tego pierwszego napisze po latach w swoich wspomnieniach: „podczas krótkiego pobytu Bunsena we Wrocławiu największym jego odkryciem był sam Kirchhoff” (Roscoe 1900, s. 530). Faktycznie, niemiecki chemik nie zabawił na tamtejszym uniwersytecie zbyt długo i już po roku został powołany na katedrę chemii na uniwersytecie w Heidelbergu. Kiedy w 1854 r. pojawiła się tam konieczność obsadzenia także katedry fizyki, wówczas Bunsen w ministerstwie badeńskim zarekomendował swojego przyjaciela Kirchhoffa. Po jego przybyciu do Heidelbergu przyjaźń obydwu uczonych pogłębiła się. Obaj uzupełniali się zarówno swoimi zainteresowaniami, jak i zdecydowanie różnymi charakterami. Bunsen był chemikiem eksperymentatorem, kawalerem, miłośnikiem podróży i kopcących cygar. Z kolei Kirchhoff był typowym fizykiem matematycznym, głęboko zaangażowanym w życie rodzinne. Na uniwersytecie znane stały się ich codzienne, wspólne spacerzy, w czasie których odpoczywali i wymieniali poglądy.

Pierwsze wspólne badania widma liniowego płomieni różnych substancji Kirchhoff i Bunsen prowadzili tylko przez kilka miesięcy, od jesieni 1859 do wiosny 1860 r., a otrzymane wyniki opublikowali również we wspólnym artykule w czerwcu 1860 r. (Kirchhoff, Bunsen 1860). Badania te nie były bynajmniej jakimś spontanicznym odruchem, zaprzyjaźnionych od lat, fizyka i chemika, pragnących zrewolucjonizować praktykę analityczną chemii, lecz efektem trwających już od kilku lat pewnych prac, prowadzonych przez nich niezależnie. Badaniom tym towarzyszyły coraz donośniejsze wypowiedzi niektórych ówczesnych uczonych, wyrażających swoje niezadowolenie z dotychczasowych metod analitycznych stosowanych w chemii (por. James 1983, s. 30).

Od 1857 r. Bunsen wraz z kilkoma swoimi dawnymi studentami – m.in. z Henrym E. Roscoe (1833–1915) oraz Rowlandsonem Cartmellem (?–1888) – prowadził eksperymenty fotochemiczne z wykorzystaniem soczewek i pryzmatów, mające na celu wykorzystanie światła do analizy chemicznej¹¹. Także Kirchhoff, bardziej zainteresowany fizyczną stroną zjawiska widma liniowego, jeszcze w roku 1858 wykorzystał ciemne linie Fraunhofera do wyznaczenia osi optycznych dwójłomnego kryształu aragonitu (wyniki zostały opublikowane we wrześniu 1859 r. – Kirchhoff 1859a). Warto zauważyć, że do wyznaczenia współczynników refrak-

¹¹ Bunsen wraz z Roscoe, otrzymawszy linie Fraunhofera, prowadzili badania charakterystyk fotochemicznych widma świetlnego w nadfiolecie. Opis ich aparatury wskazuje na to, że oprócz dwóch pryzmatów kwarcowych, użyli oni także kwarcowej soczewki kolimacyjnej, a wytworzone w tym układzie widmo optyczne było rzutowane na biały ekran nasączony siarczanem chininy, dla uwidocznienia linii widmowych (Bunsen, Roscoe 1859, s. 267).

cji kryształu Kirchhoff zastosował możliwości pomiarowe teodolitu, a metoda, którą się posługiwał, była podobna do tej, którą z kolei ponad czterdzieści lat wcześniej wykorzystał sam Fraunhofer w pomiarach współczynników refrakcji szkła optycznego.

W porównaniu ze wspomnianymi pracami Bunsena z zakresu chemii analitycznej, prowadzonymi przed rokiem 1860, a zakończonymi niepowodzeniem, szersze zainteresowanie się liniami Fraunhofera przez Kirchhoffa, poza ich instrumentalnym wykorzystaniem, jak w przypadku badań aragonitu, z dzisiejszego punktu widzenia przyniosło znaczne osiągnięcia na płaszczyźnie fizyki. W kolejnej swojej pracy z 20 października 1859 r., prowadząc rozważania nad pochodzeniem linii Fraunhofera i interpretując je jako linie absorpcyjne, Kirchhoff (1859b) doszedł do matematycznego sformułowania prawa promieniowania, łączącego zdolność emisyjną ze zdolnością absorpcyjną. W kolejnych dwóch pracach: pierwszej z 11 grudnia tego samego roku (Kirchhoff 1859c) i następnej z 3 lutego 1860 r., podał dwie wersje argumentacji na rzecz tego prawa fizycznego. W tej ostatniej pracy pojawiło się po raz pierwszy pojęcie „ciała doskonale czarnego” (Kirchhoff 1862, s. 19).

Rozwinięcie idei zarysowanych przez niemieckiego uczonego stało się jednym z celów prac z zakresu fizyki promieniowania w drugiej połowie XIX wieku, uwieńczonych na początku wieku XX rewolucyjnymi koncepcjami Maxa Plancka (1858–1947) i powstaniem teorii kwantów. Należy dodać, że wyjaśniając pochodzenie słonecznych linii absorpcyjnych, Kirchhoff zaproponował model budowy naszej gwiazdy, który w swoich zarysach pozostaje aktualny do dnia dzisiejszego. Zgodnie z tym modelem, powstające we wnętrzu Słońca światło, wychodząc z niego, natrafia na rozgrzaną gazową atmosferę, która pochłania część promieniowania (charakterystycznego dla różnych pierwiastków chemicznych), co z kolei uwidacznia się po jego przepuszczeniu przez pryzmat w postaci linii Fraunhofera. Stało się tym samym oczywiste, że takie wyjaśnienie otwierało drogę do możliwej detekcji zawartości pierwiastków również w innych gwiazdach (zob. Hübner 2010, s. 120–123).

Podjęte przez Kirchhoffa i Bunsena wspólne badania przyzmatyczne płomieni objęły sole trzech znanych ówczesnie pierwiastków tzw. alkalicznych (potas, sód i lit) i trzech pierwiastków tzw. ziem alkalicznych (stront, wapń i bar). Podali oni mapę ich linii widmowych w zakresie widzialnym, które odtąd były porównywane do chemicznych „odcisków palca”, charakterystycznych dla danego pierwiastka. Co więcej, już w pierwszym wspólnym artykule podzielili się przypuszczeniem co do możliwości odkrycia nieznanego jeszcze pierwiastka alkalicznego, którego dwie niebieskie linie Bunsen i Kirchhoff (1860, s. 186) zauważyli w badanych przez siebie próbkach. Była to zapowiedź identyfikacji nowego pierwiastka i zarazem pierwszego odkrytego na drodze analizy spektroskopowej – cezu, o którym pełniejsze sprawozdanie przedstawili dopiero w swojej drugiej

wspólnej pracy (Kirchhoff, Bunsen 1861)¹². Entuzjazm obydwu uczonych dla nowej metody detekcji chemicznej był tak wielki, że próbom analizy poddawali praktycznie wszystko to, co mieli pod ręką, nawet popiół z Bunsenowskiego cygara! (Kirchhoff, Bunsen 1860, s. 180).

Interesującą nas tutaj szczególnie kwestią pozostaje natomiast rodzaj aparatury, wykorzystywanej przez Bunsena i Kirchhoffa w ich pierwszej wspólnej pracy z przełomu lat 1859/1860. Zgodnie z najnowszymi badaniami Jochena Henniga (2003a; 2003b)¹³, pierwszy aparat spektroskopowy obaj niemieccy uczeni złożyli sami z elementów znajdujących się w ich laboratorium heidelberskim. Część z nich, tzn. dwie lunetki i pryzmat, została wykonana jeszcze przed rokiem 1859, z przeznaczeniem do innych badań, przez monachijskiego konstruktora przyrządów naukowych Carla A. von Steinheila (1801–1870). Spektroskop Bunsena-Kirchhoffa składał się z zaczernionej od strony wewnętrznej drewnianej skrzyneczki (niektórzy sądzą, że po Bunsenowskich cygarach – por. Todd, Angelo 2005, s. 67), w której był umieszczony pryzmat cieczkowy, wypełniony dwusiarczkiem węgla (wybrany ze względu na wysoką dyspersję optyczną płynu). W ściankach skrzyneczki były umocowane na stałe i ustawione do siebie pod stałym kątem lunetka kolimacyjna z regulowaną szczeliną i lunetka obserwacyjna (ryc. 1).

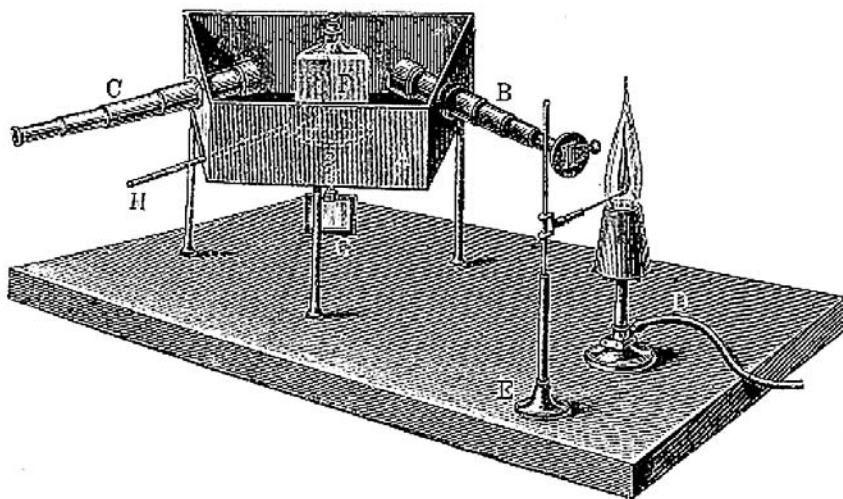
Stałe umocowanie lunetek i ruchomy pryzmat, a więc optyczna część aparatu, nie przypominały wykorzystywanych już w tym czasie wariantów spektroskopu dwulunetowego (albo „dwuramiennego”¹⁴), w których zwykle to pryzmat był elementem stałym, natomiast lunetki elementami ruchomymi, wyznaczającymi na kole podziałowym kąty odchylenia promieni, w tym umiejscowienie linii widmowych. Niemniej jednak tak złożony przez Bunsena i Kirchhoffa aparat realizował konstrukcję znanego już od równych dwudziestu lat spektroskopu dwuramiennego¹⁵. Rzeczywistym *novum* w tym układzie obserwacyjnym były niewątpliwie dwa elementy (można je nazwać „chemicznymi”, gdyż wywodziły

¹² Praca ta zawiera także informację o identyfikacji jeszcze innego nieznanego dotąd reprezentanta rodziny metali alkalicznych – rubidu. Poza detekcją, do uznania odkrycia nowego pierwiastka należało także uzyskanie pewnych jego ilości, niezbędnych do określenia właściwości fizycznych i chemicznych. Do przeprowadzenia tych obserwacji Bunsen i Kirchhoff wykorzystali nowy spektroskop do chemicznej analizy płomieniowej, skonstruowany przez Carla A. von Steinheila (zob. Hennig 2003a, s. 22–25).

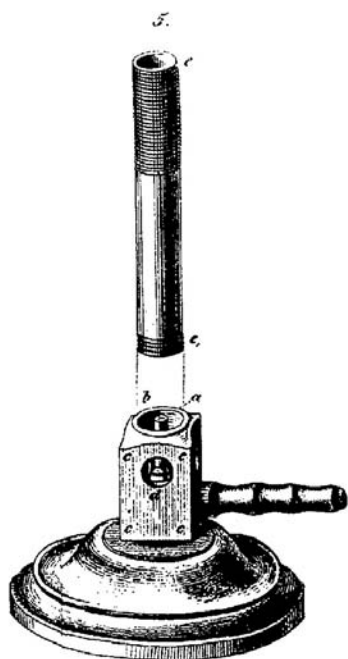
¹³ Obie prace Henniga powstały w ramach projektu rekonstrukcji pierwszego aparatu spektroskopowego Bunsena-Kirchhoffa oraz próby powtórzenia na nim niektórych wykonanych przez nich obserwacji. Był to przykład zagadnienia podjętego w ramach, cieszącej się coraz większym zainteresowaniem wśród części historyków, tzw. eksperymentalnej historii nauki.

¹⁴ Wyrażenie „dwuramienny” ukuł Thomas Greenslade jun. na określenie spektroskopu z lunetką obserwacyjną i lunetką kolimacyjną.

¹⁵ Na temat genezy spektroskopu typu dwuramiennego będzie mowa w czwartej części niniejszego studium.



Ryc. 1. Aparat spektroskopowy Bunsena-Kirchhoffa (Kirchhoff, Bunsen 1860, pl. VI, ryc. 1)



Ryc. 2. Palnik Bunsena (Bunsen, Roscoe 1859, pl. 1, ryc. 5)

się z praktyki laboratoryjno-chemicznej) – drucik platynowy udoskonalony przez Cartmella, a przede wszystkim palnik gazowy wynaleziony przez Bunsena (ryc. 2), który Hennig (2003a, s. 19) nazwał „decydującą częścią aparatury”¹⁶. Można do tego dodać szczególne starania ze strony Bunsena, związane z przygotowaniem wolnych od zanieczyszczeń próbek soli badanych spektroskopowo pierwiastków chemicznych.

Chcąc więc dokonać próby oddzielenia ziarna prawdy od plew domorosłej mitologii historiograficznej, należy stwierdzić, iż w świetle wstępnie przedstawionych świadectw historycznych, a przed ich uzupełnieniem o dalsze informacje w kolejnych częściach niniejszej pracy, trudno jest traktować Bunsena i Kirchhoffa jako wynalazców spektroskopu optycznego pryzmatycznego. Niewątpliwie obaj niemieccy uczeni przyczynili się do ugruntowania anali-

¹⁶ Jak się okazuje, pierwszeństwo w wynalezieniu palnika typu bunsenowskiego także jest przedmiotem dyskusji między historykami nauki (por. Lockemann 1956; Williams 2000; Jensen 2005).

zy spektrochemicznej, co skierowało badania chemików na nowe drogi w ich praktyce laboratoryjnej. Szczególny wkład do tego sukcesu, jak można sądzić, miał sam Bunsen, którego palnik, metoda drucika platynowego wypracowana przez jego współpracownika i w końcu niespotykane wcześniej środki eliminacji zanieczyszczeń przyczyniły się do jego pełnego urzeczywistnienia. Względnie niezależnie od tych osiągnięć sam Kirchhoff dokonał nie tylko wyjaśnienia mechanizmu tworzenia linii Fraunhofera i sformułował nowe prawo fizyczne, ale tym samym przed spektroskopią otworzył szeroko perspektywy jej wykorzystania w astronomii, kładąc podwaliny pod obserwacje astrofizyczne¹⁷.

Ani sam Kirchhoff, w pracach sprzed 1860 r., ani też on wraz Bunsenem, zarówno w pracy z 1860, jak i późniejszych, nigdzie jednak nie zaznaczyli wyraźnie, na podstawie czyjego pomysłu lub zrealizowanej konstrukcji złożyli swój pierwszy spektroskop. Mogli więc już w tym czasie wywołać, przynajmniej u mniej obytego w literaturze przedmiotu czytelnika, wrażenie, że to właśnie oni są jego wynalazcami. Zdaniem Jamesa (1983, s. 35), ok. roku 1860 Kirchhoff mógł nie znać nawet dotychczasowych najważniejszych prac z zakresu obserwacji widma. W 1863 r., głównie w związku z publikowanymi uwagami brytyjskich uczonych, którzy zarzucali Kirchhoffowi i Bunsenowi nieuwzględnienie w ich pierwszym wspólnym artykule również ich osiągnięć na polu analizy spektrochemicznej, sam Kirchhoff (1863, s. 94) oświadczył w wyraźnie apologetycznym artykule na łamach „*Annalen der Physik*”, że niektórych z tych prac faktycznie nie znał, inne zaś uznał za niewarte poważniejszego zainteresowania. Z treści tego artykułu wynika, że miał on głównie na myśli ewentualny wkład innych badaczy do rozwinięcia metod analitycznych opartych na obserwacjach spektroskopowych, pomijając samą aparaturę¹⁸. Tak więc kwestia możliwych źródeł inspiracji przy budowie pierwszego aparatu spektroskopowego, tak dla samego Kirchhoffa, jak

¹⁷ W latach 1861–1862 Kirchhoff kontynuował swoje obserwacje słonecznych linii widmowych, mając nadzieję na identyfikację dzięki nim możliwie wszystkich zawartych w naszej gwiazdzie pierwiastków. W tym celu zobowiązał von Steinheila do skonstruowania specjalnego czteroprzyrnatycznego astrospektroskopu (zob. Hennig 2003a, s. 27–30; także Hübner 2010, s. 130–136).

¹⁸ Irlandzki spektroskopista i historyk D. Thorburn Burns (1988, s. 289), wymieniając kilka przykładów wykorzystywanych w latach 1839–1860 aparatów do obserwacji widma, pisze o „kuriozalnym braku wiedzy o wcześniejszych pracach” ze strony Kirchhoffa. Niemiecki fizyk znał już w tym czasie pracę szkockiego przyrodnika Williama Swana (1818–1894) (Swan 1856), którą cytował zarówno w pierwszym artykule, zredagowanym wraz z Bunsenem (zob. Kirchhoff, Bunsen 1860, s. 168), jak w swoim przeglądzie historycznym z 1863 r. (Kirchhoff 1863, s. 100). Jednak zwrócił tylko uwagę na podjęty przez Swana temat detekcji pierwiastka chemicznego sodu na podstawie jego widma, a nie na fakt, że Swan w swoim artykule prezentuje także konstrukcję własnej wersji aparatu spektroskopowego dwuramiennego, a więc podobnego do tego, który zbudowali także Bunsen z Kirchhoffem.

i dla niego wraz Bunsenem, na przestrzeni ponad trzech lat wspólnych prac pozostawała owiana zagadkowym milczeniem.

Dziesięciolecie, które nastąpiło bezpośrednio po pierwszej publikacji Bunsena i Kirchhoffa, obfitowało w pojawianie się kolejnych wariantów spektroskopu optycznego, zarówno pryzmatycznego, jak i opartego na siatce pryzmatycznej. Świadectwem tego może być choćby oferta handlowa zaprezentowana na Międzynarodowej Wystawie w Londynie w 1862 r. Zgromadziła ona kilkunastu europejskich wytwórców aparatury spektroskopowej, głównie z Niemiec, Anglii i Francji. Oferowane instrumentarium do obserwacji widma tylko do pewnego stopnia różniło się od podstawowych jego typów, które zostały wynalezione w okresie między obserwacjami Fraunhofera a wspólnymi pracami Bunsena i Kirchhoffa (zob. Bennett 1984, s. 7–9). O pojawiającym się, także w kręgach pozanaukowych, zainteresowaniu spektroskopem może świadczyć choćby wydarzenie, które stało się udziałem pracującego w Anglii niemieckiego chemika Augusta W. von Hofmanna (1818–1892). W grudniu 1863 r. uczony ten został poproszony o zaprezentowanie w Royal College of Chemistry w Londynie niezwykłych możliwości przyrządu w obecności księżnej Wiktorii (1840–1901), najstarszej córki panującej w tym czasie królowej Wiktorii (1819–1901) (zob. James 1988, s. 181).

3. Joseph Fraunhofer i jego trzy aparaty spektroskopowe¹⁹

Chcąc dokonać zarysu początków spektroskopii, rozumianej jako obserwacje i badania widma, część zarówno historyków nauki, jak i przyrodników, zwykle najpierw wymienia znane powszechnie eksperymenty Izaaka Newtona (1643–1727) z pryzmatami i „słynnym zjawiskiem barw”²⁰ (por. np. Bennett 1984, s. 1; Leidler 2001, s. 166). Niewątpliwie, stanowią one moment przełomowy w optyce nowożytnej, ważny także dla dalszych badań związanych ze zjawiskiem widma świetlnego (*notabene* termin „widmo” – *spectrum*, został upowszechniony właśnie przez autora *Principiów*). Niejednokrotnie jednak przy tym zapomina się o powodach, dla których Newton zainteresował się pryzmatami i analizą światła. Współcześni znawcy przedmiotu skłaniają się do opinii, zgodnie z którą angielskim uczonym powodowały w tych eksperymentach co najmniej dwie pobudki: jedna praktyczna i druga teoretyczna (por. Westfall 1980, s. 156, 161; także Manuel 1998, s. 90).

¹⁹ W tej i następnej części niniejszej pracy zostały wykorzystane niektóre wątki treściowe zawarte w moich wcześniejszych artykułach (Rodzeń 2010a; 2010b).

²⁰ „Słynne zjawisko barw” jest określeniem samego Newtona i pojawiło się w jego liście do Henry’ego Oldenburga (1619–1677) z 6 lutego 1672 r., który z kolei został umieszczony na początku rozprawy Newtona *Nowa teoria światła i barw* (zob. Newton 1672, s. 3075).

W połowie lat 60. XVII wieku Newton zainteresował się możliwością poprawienia jakości ówczesnych lunet astronomicznych. Wśród różnych problemów natury technicznej powracającym tematem stała się dla niego wada wykorzystywanych w lunetach soczewek, nazwana później aberracją chromatyczną²¹. Idąc za przykładem Galileusza i Kartezjusza, Newton próbował nawet sam szlifować soczewki o takiej krzywiznie, która gwarantowałaby jej praktyczną minimalizację. Nigdy jednak ta sztuka mu się nie udała. Jednocześnie młody angielski uczonek, który szybko wspinał się po szczeblach kariery uniwersyteckiej w Cambridge, coraz bardziej interesował się naturą samego światła, uznając utarte od stuleci teorie na jego temat za niewystarczające. Wykonane przez Newtona pierwsze doświadczenia z wykorzystaniem pryzmatów nie tylko sprowokowały rozwinięcie nowej koncepcji natury światła, lecz także umocniły go w przekonaniu, że efekt aberracji chromatycznej jest praktycznie nieusuwalny z soczewkowych przyrządów obserwacyjnych²².

Choć przez kolejne dziesięciolecie autorytet i sława Newtona nie pozwalały kwestionować także jego opinii dotyczącej aberracji chromatycznej, części przyrodników i wytwórców przyrządów optycznych nie dawała ona spokoju. Dopiero ok. 1733 r. (a więc zaledwie sześć lat od śmierci autora *Optyki*) nikomu nieznanemu angielski prawnik i matematyk Chester Moor Hall (1703–1771) wykonał pierwszy, pozbawiony tej wady, a więc achromatyczny, obiektyw do teleskopu astronomicznego, złożony ze złączonych ze sobą dwóch soczewek, wykonanych z różnych gatunków szkła (flintu i kronu)²³. Hallowi początkowo niezbyt zależało na uznaniu jego pierwszeństwa w wynalazku, dlatego po niemal trzydziestu latach znany ówczesny angielski wytwórca John Dollond (1706–1761) w 1758 r. uzyskał stosowny patent na soczewkę achromatyczną i to on oraz jego potomkowie przez ponad pół wieku będą następnie budować najlepsze teleskopy astronomiczne (por. Angus-Butterworth 1958, s. 358; także Sorrenson 2001).

Ponieważ przy konstruowaniu teleskopów, a także mikroskopów, istotną rolę w praktyce zaczęło odgrywać wyznaczanie współczynników refrakcji i dyspersji różnych gatunków szkła, tak wytwórcy przyrządów optycznych, jak

²¹ Aberracja chromatyczna polega na otrzymywaniu w lunecie zamazanych obrazów z charakterystycznymi kolorowymi obwódkami na skutek różnic w ogniskowaniu różnych barw światła białego wychodzącego z soczewki. Pierwszym badaczem, który poważnie potraktował ten efekt w związku z budową lunet astronomicznych (w pracy zatytułowanej *Dioptrice*, 1611), był Johann Kepler (1571–1630; por. Kepler 2008, s. 511).

²² Warto wspomnieć, że zanim w „*Philosophical Transaction*” ukazała się (w 1672 r.) pierwsza praca Newtona na temat światła i barw, rok wcześniej zaprezentował on na forum Royal Society własną wersję astronomicznego teleskopu zwierciadłowego (reflektora).

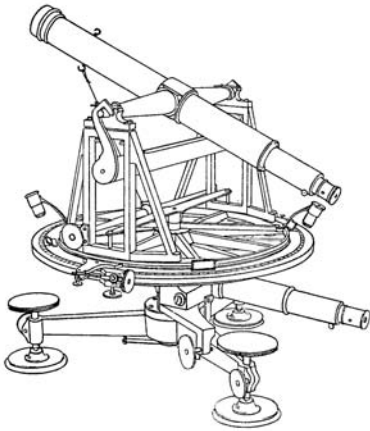
²³ Istnieje w *Optyce* Newtonowskiej (księga 1, część 2, twierdzenie 3, problem 1, eksperymenty 7 i 8) zapis świadczący, że angielski uczonek także próbował, choć bez powodzenia, korygować efekt aberracji chromatycznej przez budowanie układu optycznego złożonego z dwóch soczewek o różnych współczynnikach refrakcji (por. Jackson 2000, s. 17).

i eksperymentalni filozofowie przyrody w drugiej połowie XVIII wieku zaczęli opracowywać odpowiednie metody pomiarowe. Pośród badaczy zajmujących się tą kwestią można wymienić dwóch matematyków: Szweda Samuela Klingenstiernę (1689–1785) i Francuza Alexisa C. de Clairauta (1713–1765). W latach 60. i 70. XVIII wieku metodę pomiaru tych współczynników, tzw. najmniejszego odchylenia dla wiązki światła i jej barw, przechodzących przez pryzmat, opracował chorwacki uczoney Ruđer J. Bošković (1711–1787). W 1773 r. skonstruował on nawet do tego celu osobny przyrząd, nazywany witrometrem (zob. Ronchi 1970, s. 199–200; Jackson 2000, s. 22). Natomiast na początku XIX wieku wyznaczaniem właściwości szkła optycznego zajmowali się m.in. William H. Wollaston (1766–1828) i David Brewster (1781–1868).

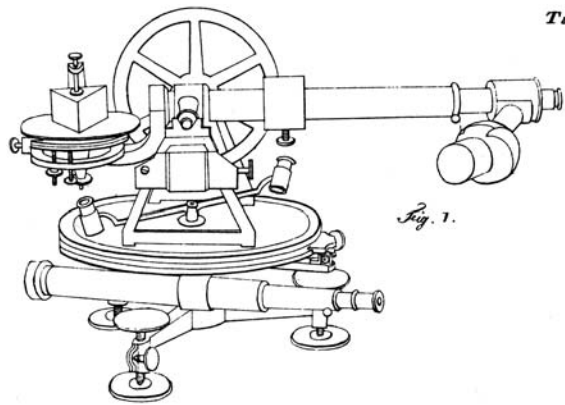
Zatrudniony od 1806 r. w należącym do Josepha von Utzschneidera (1763–1840) monachijskim Instytucie Matematyczno-Mechanicznym (a dokładniej w jego filii w Benediktbeuern, położonej kilkadziesiąt kilometrów na południe od Monachium, w której znajdowała się huta szkła optycznego) przy wytopie szkła optycznego Josef Fraunhofer również poszukiwał metody kontroli właściwości soczewek do instrumentów obserwacyjnych. Od czasu prac Clairauta i Boškovicia było wiadomo, że do możliwie dokładnego zbadania właściwości fizycznych szkła (przede wszystkim dyspersji i współczynnika refrakcji) niezbędne było uzyskanie w wysokim stopniu homogenicznego światła o określonej barwie, np. ze słonecznego widma ciągłego, lub wyodrębnionej (za pomocą filtrów) określonej barwy płomienia. Także Fraunhofer, począwszy od końca 1813 r., usilnie poszukiwał takiego źródła.

Chcąc uzyskać możliwie dużą dokładność wyznaczanych parametrów szkła, niemiecki optyk zbudował aparat złożony z oddalonego źródła światła w postaci szczeliny w okiennicy, na którą padały promienie słoneczne, pryzmatu i lunetki obserwacyjnej, umieszczonej na konstrukcji koła poziomego teodolitu. Ze złożeniem tak części optycznej, jak i mechanicznej przyrządu, Fraunhofer nie miał praktycznie problemu, gdyż posiadał je dosłownie pod ręką. Szkło soczewek lunety i pryzmatu było „produkcji własnej”, także wykorzystana podstawa 12-calowego (1 cal francuski = 27,1 mm) teodolitu (ryc. 3), z doskonale wyskalowaną jak na owe czasy podziałką kątową na kole (z możliwością odczytu do 4''), była autorstwa jego współpracownika i przyjaciela z Instytutu, Georga von Reichenbacha (1771–1826), niezwykle utalentowanego bawarskiego konstruktora mechaniki do przyrządów astronomicznych²⁴.

²⁴ W opinii Rolfa Riekhera, jednego z najwybitniejszych współczesnych znawców życia i dzieła Fraunhofera, wyrażonej w prywatnej korespondencji, zarówno data domniemanego skonstruowania tego aparatu podana przez Jacksona, tzn. 1815 r., jak również czasami podawany rok 1813, są „zbyt późne”. Z racji braku informacji w tym względzie, osadzonych na materiale źródłowym, niemiecki historyk wstrzymuje się z podaniem konkretnej daty. Można jednak sądzić pośrednio, że Fraunhofer mógł złożyć swój pierwszy spektroskop nawet już ok. roku 1810.



Ryc. 3. Teodolit von Reichenbacha
(Dyck 1912, s. 25, ryc. 8)



Ryc. 4. Spektroskop pryzmatyczny Fraunhofera
(Fraunhofer 1817, pl. I, ryc. 1)

Dzięki temu przyrządowi (ryc. 4) Fraunhofer początkowo prowadził badania właściwości szkła, wykorzystując do tego celu znane wcześniej metody. Obserwując nim następnie płomień barwione przez różne substancje, przez przypadek odkrył między barwą czerwoną a żółtą widma wyraźną jasną linię, znaną później jako linia emisyjna R pierwiastka sodu (dzisiaj jako tzw. dublet sodowy). Kiedy z kolei chciał sprawdzić, czy znajduje się ona także w widmie słonecznym, dostrzegł wówczas na jego tle niezliczone ciemne linie (po zliczeniu było ich 574), nazwane później liniami absorpcyjnymi lub liniami Fraunhofera²⁵. Zachęcony tym odkryciem niemiecki optyk jako pierwszy, za pomocą swojego aparatu, obserwował światło planety Wenus oraz kilku jaśniejszych gwiazd, a także światło isker wytwarzanych przez maszynę elektrostatyczną. Fraunhofer nie chciał jednak podejmować teoretycznych rozważań na temat natury linii widmowych, wierząc, że już niebawem zajmą się nimi „biegli przyrodnicy” (zob. Fraunhofer 1817, s. 222).

Genialny optyk ze Straubing przede wszystkim chciał jak najlepiej wykorzystać linie widmowe w procesie kontroli jakości szkła oraz budowy doskonalszej optyki achromatycznej, głównie do teleskopów astronomicznych. Nie musiał już poszukiwać do tego celu źródeł światła homogenicznego, gdyż linie widmowe stały się dla niego dokładnymi markerami optycznymi przy wyznaczaniu współczynników refrakcji i stosunków dyspersji dla różnych rodzajów szkła. A wykorzystywany przez niego przyrząd optyczny stał się pierwszym typem

²⁵ Siedem z tych linii odkrył już przed 1802 r. William H. Wollaston, posługując się jedynie samym pryzmatem bez lunetki wspomagającej obserwację, ale cztery z nich potraktował jako granice między barwami i uznał za niewarte dalszego zainteresowania (zob. Wollaston 1802, s. 378).

aparatu spektroskopowego, służącego do obserwacji widma. Można powiedzieć, że był to aparat jednopryzmatowy z lunetką obserwacyjną i kołem poziomym do wyznaczania wielkości kątowych.

Swoje badania z wykorzystaniem nowego instrumentu optycznego Fraunhofer przeprowadził w latach 1813–1816, a wyniki prac ogłosił w 1817 r. (por. Häfner, Riekher 2003, s. 138–141). Na tym jednak jego zainteresowanie liniami widmowymi się nie zakończyło. W marcu 1819 r. zaczął prowadzić obserwacje zjawiska dyfrakcji światła. Do tego celu wykorzystał wykonane przez siebie siatki dyfrakcyjne, zamontowane – podobnie jak w poprzednich doświadczeniach przyzmaty – na zmodyfikowanym teodolicie Reichenbacha²⁶. Należy dodać, że swoje eksperymenty z dyfrakcją światła Fraunhofer prowadził w okresie żywej dyskusji między zwolennikami tzw. korpuskularnej (albo emisyjnej) koncepcji światła, opartej na podstawach postulowanych jeszcze przez Newtona, a propagatorami nowego ujęcia falowego, w szczególności jego twórcami: Thomasem Youngiem (1773–1829) i Augustinem J. Fresnelem (1788–1827).

Wytwarzane przez Fraunhofera siatki były majstersztykiem ówczesnej techniki. Najpierw swoje obserwacje przeprowadzał on z użyciem drutowych siatek transmisyjnych, z których najlepsze posiadały nawet do 25 cienkich drucików na 1 mm, nawiniętych równolegle między dwiema śrubami. Później zaczął stosować siatki wykonane ze szkła pokrytego cieniutką warstwą złota, na których rylcem diamentowym nacinał niezwykle wąskie rysy. Najlepsze z nich miały 300 rys na 1 mm. Było to możliwe dzięki skonstruowanej przez niego specjalnej maszynie do nacinania, której szczegółów budowy jednak nigdy publicznie nie ujawnił. O poziomie precyzji instrumentarium Fraunhofera i jego kunszcie jako eksperymentatora niech świadczą choćby opublikowanie w 1821 r. wartości długości fal świetlnych dla siedmiu głównych ciemnych linii widma słonecznego. Ich dokładność była tak duża, że dopiero po ok. 40 latach mogli się do niej zbliżyć w swoich pracach inni badacze, m.in. Éleuthère E.J. Mascart (1827–1908) i Anders J. Ångström (1814–1874) (Fraunhofer 1821; 1823; por. także Kayser 1900, s. 692).

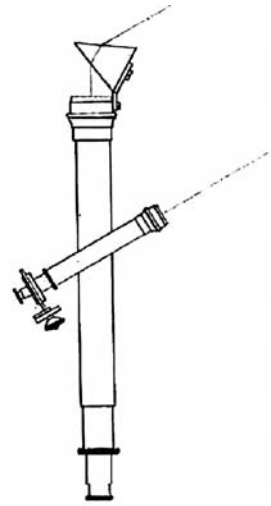
W tym samym 1819 r., kiedy zaczął prowadzić badania z użyciem siatek dyfrakcyjnych, Fraunhofer zbudował również nowy rodzaj przyrządu astronomicznego, stanowiący połączenie tradycyjnego teleskopu z przyzmatem o stosunkowo małym kącie łamiącym (ryc. 5). Dzięki niemu mógł obserwować jednocześnie widma wielu obiektów astronomicznych (np. gwiazd). Instrument ten

²⁶ W niektórych opracowaniach historycznych podtrzymuje się nadal opinię, zgodnie z którą Fraunhofera traktuje się jako wynalazcę siatki dyfrakcyjnej. Nie jest to jednak zgodne z prawdą, gdyż pierwszych prototypów tego instrumentu fizycznego należy doszukiwać się już w pracach odkrywcy samego zjawiska dyfrakcji światła Francesca M. Grimaldiego (1618–1663) w latach 50. XVII w. (rodzaj siatki odbiciowej). Wkład do tego wynalazku (rodzaj siatki transmisyjnej) miał prawdopodobnie także ok. 10 lat później Claude-François M. Dechales (1621–1678).

został później nazwany pryzmatem obiektywowym albo spektroskopem z pryzmatem obiektywowym. Za jego pomocą Fraunhofer wykonał obserwacje kilku jaśniejszych gwiazd oraz Księżyca, Marsa i Wenus. Był to już trzeci, obok pryzmatycznego i siatkowego, typ spektroskopu zbudowany przez optyka ze Straubing (por. Riekher 2009).

Ewolucję stopnia dokładności w badaniach Fraunhofera, szczególnie dokładności ucieleśnionej w jego przyrządach fizycznych i astronomicznych, krótko, lecz trafnie skwitował Mathias Dörries (1994, s. 14): „Aby ulepszyć teleskop, Fraunhofer musiał określić właściwości linii widmowych, mierząc odpowiadające im długości fal. To z kolei oznaczało jednak badanie innego przyrządu – siatki dyfrakcyjnej. Ostatecznie więc jakość teleskopu miała zależeć od jakości siatki”.

Aparaty spektroskopowe Fraunhofera przyczyniły się nie tylko do rozświetlenia jego macierzystego Instytutu Matematyczno-Mechanicznego, ale także, pośrednio, do rozwoju astronomii. Dzięki wykorzystaniu linii widmowych (i poznanym długościom ich fal) w procesie wyrobu i kontroli jakości szkła optycznego i soczewek, stało się możliwe konstruowanie instrumentów astronomicznych o niespotykanych dotąd możliwościach obserwacyjnych. W ciągu następných kilkudziesięciu lat niektóre z nich przyczyniły się do znaczących odkryć, jak np. 6-calowy heliometr, zamówiony przez Friedricha Wilhelma Bessela do obserwatorium królewieckiego, dzięki któremu odkrył on w 1838 r. zjawisko paralaksy gwiazdowej, czy 9-calowy refraktor przeznaczony dla Obserwatorium Berlińskiego, za pomocą którego w 1846 r. Johann G. Galle (1812–1910) dostrzegł planetę Neptun. Refraktor berliński został przygotowany jeszcze przez samego Fraunhofera. Niestety, nie było już mu dane zakończyć prac nad heliometrem królewieckim i dopiero w 1829 r. następcy optyka ze Straubing uporali się z tym przedsięwzięciem (por. Chapman 1993; także Smith 2002, s. 156–159).



Ryc. 5. Układ optyczny dla pryzmatu obiektywowego Fraunhofera (Riekher 2009, s. 103)

4. Zapomniane zasługi rzemieślników i przyrodników

Nawet jeśli autorzy rozmaitych wstępów lub not historycznych, dotyczących dziejów spektroskopii, wymieniają na ich początku nazwiska Newtona i Fraunhofera, a być może także przypisują temu drugiemu wynalazek spektroskopu, to zwykle jednak od razu wykonują swoisty „przeskok” w dyskursie do zasług Bunsena i Kirchhoffa. Tym sposobem okres dzielący ich prace oraz badania

Fraunhofera może wywołać wrażenie czasu niewiele znaczącego dla dziejów spektroskopii i wykorzystywanej w jej ramach aparatury. Nikogo jednak nie trzeba chyba przekonywać, że w dziejach fizyki czy też astronomii uznanie interwału czasowego, liczącego niemal pół wieku, za niezastępowalną uwagę, może wyglądać na krok wysoce podejrzany. Dlatego w tej części niniejszej pracy spróbujemy przyrzeć się przede wszystkim nieznanym wątkom z genezy aparatury do obserwacji widma, poczynając od publikacji ostatniej pracy spektroskopowej Fraunhofera w 1823 r., do roku 1860, kiedy został opublikowany pierwszy wspólny raport z badań Bunsena i Kirchhoffa.

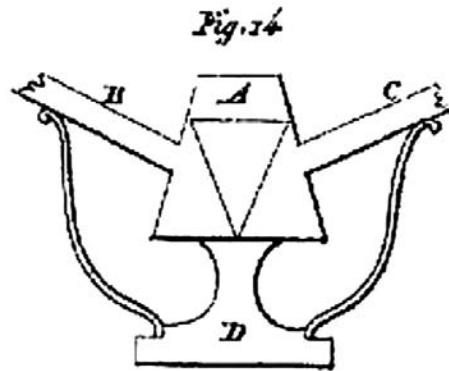
Zakreślony w ostatnim zdaniu, interesujący nas okres, dla uwypuklenia zachodzącej w nim ewolucji instrumentarium spektroskopowego, podzielmy dodatkowo na dwa wyróżniające się podokresy. Pierwszy będzie obejmował aktywność wynalazczą i innowacyjną od roku 1823 do 1839. Rok 1839 jest tutaj wyróżniony ze względu na swoisty przełom w konstrukcji nowych typów aparatów spektroskopowych. Drugi podokres obejmuje lata 1840–1860, ze szczególnym uwzględnieniem wydarzeń, które zaszły w budowie przyrządów do obserwacji widma około połowy lat 50. XIX wieku.

Europejskie środowisko przyrodników nie od razu dostrzegło prace Fraunhofera, a tym bardziej doceniło ich doniosłość. Po pojawieniu się kilku krótkich i lakonicznych wzmianek, poświęconych jego dotychczasowym osiągnięciom, dopiero w 1823 r. pierwsza jego praca z 1817 została przetłumaczona na języki francuski i angielski. Podobnie jak prace Fraunhofera, odznaczające się pewną dwutorowością, to znaczy z jednej strony polegające na samodzielnie przeprowadzanych przez niego obserwacjach widm światła obiektów astronomicznych, a także płomieni i iskier elektrycznych, z drugiej zaś na wykorzystywaniu linii widmowych w praktyce budowy przyrządów naukowych, również zainteresowanie badaniami spektroskopowymi wśród przyrodników i wytwórców instrumentarium badawczego w pierwszej połowie XIX wieku rozwijało się na dwóch, nie zawsze zresztą zależnych od siebie, drogach.

Mimo stopniowego zapoznawania się z osiągnięciami optyka ze Straubing przez przyrodników, poczynając od 1823 r., samo wejście na pierwszą z wymienionych dróg, tzn. uzyskania i obserwacji linii widmowych, nie było sprawą prostą. Niezależnie od tego, że ówczesnych fizyków niezbyt przyciągały wyniki uzyskane przez Fraunhofera-rzemieślnika, a z zagadnień optyki za bardziej atrakcyjne poznawczo uważano wtedy takie jak polaryzacja, dwójłomność niektórych kryształów czy dyskusja między zwolennikami korpuskularnej i falowej koncepcji światła, sama umiejętność złożenia odpowiedniej aparatury i otrzymanie widma liniowego pozostawała nie lada sztuką²⁷.

²⁷ Na temat zakresu zainteresowania fizyków trzech pierwszych dekad XIX wieku problematyką optyki zob. np. A.K. Wróblewski 2007, s. 314–323.

Jak się wydaje, pierwszym, któremu jeszcze za życia Fraunhofera, w 1822 r., udało się zaobserwować ciemne linie na tle widma słonecznego, był Johann W.A. Pfaff (1774–1835), niemiecki fizyk i zarazem zdeklarowany zwolennik reaktywacji astrologii. Prywatnie był on młodszym bratem matematyka Johanna Friedricha Pfaffa (1765–1825), znanego ze swoich badań nad równaniami różniczkowymi. Johann W.A. Pfaff (1823) posłużył się pryzmatami i siatkami dyfrakcyjnymi, otrzymanymi bezpośrednio od



Ryc. 6. Aparat spektroskopowy Pfaffa (Pfaff 1823, pl. IV, ryc. 14)

Fraunhofera, którego wcześniej odwiedził w Benediktbeuern. Zbudował też historycznie interesujący aparat do obserwacji widma, realizujący do pewnego stopnia późniejsze rozwiązania spektroskopów (ryc. 6). Przez pewien czas, choć bezskutecznie, po 1824 r., ciemne linie widmowe próbował również zaobserwować John F.W. Herschel (1792–1871) (por. Jackson 2000, s. 127). Dopiero jednak z 1831 r. pochodzi kolejna udokumentowana relacja z udanej obserwacji tych linii, wykonanej przez mało znanego angielskiego chemika Johna T. Coopera (1790–1854) (Cooper 1831). Dalsze, choć nieliczne, prace, w których relacjonowane są ich obserwacje, pojawiły się dopiero w połowie lat 30. XIX wieku.

Nie lepiej przedstawiała się sytuacja z obserwacją i badaniami jasnych linii emisyjnych. Jak pamiętamy, Fraunhofer wykonał pierwsze ich badania, posługując się płomieniami różnych substancji i światłem iskry elektrycznej. Po nim dopiero w 1826 r. relację z własnych obserwacji tego rodzaju widma zaprezentował angielski przyrodnik i wynalazca William H.F. Talbot (1800–1877). Warto przy tym zauważyć, iż był on przypuszczalnie pierwszym, który spostrzegł możliwość wykorzystania specyficznego dla różnych substancji układu linii widmowych i właściwych im barw do ich identyfikacji chemicznej (Talbot 1826, s. 81). Mimo tego, że w kolejnych latach Talbot opublikował jeszcze kilka krótkich prac poświęconych m.in. tej idei, nie przetworzył jej praktycznie w skuteczną metodę analizy. Udało się to dopiero pod koniec lat 50. Bunsenowi i Kirchhoffowi. Wspomnieć w tym miejscu należy także, pierwsze po Fraunhoferze, obserwacje widma iskier elektrycznych, otrzymanych z użyciem różnych metali jako elektrod, które zostały przeprowadzone w połowie lat 30. przez innego angielskiego przyrodnika i wynalazcę Charlesa Wheatstone'a (1802–1875) (Wheatstone 1835).

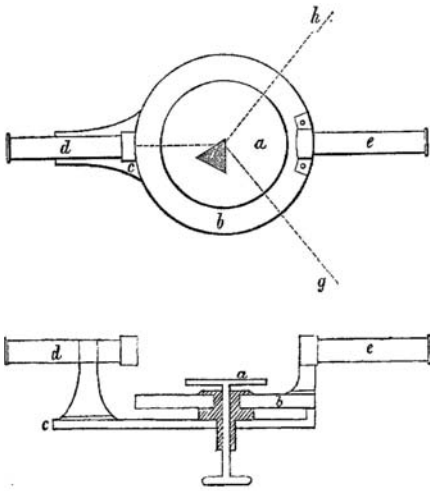
Charakterystyczną wspólną cechą wspomnianych wyżej wczesnych prac, związanych z obserwacjami widma liniowego absorpcyjnego i emisyjnego, było to, że ich autorzy, poza zwykłą obserwacją i rejestrowaniem właści-

wości wizualnych o charakterze jakościowym (barwy, ich intensywność, związek z określonymi substancjami itp.), w swoich badaniach nie posługiwali się jakimikolwiek przyrządami pomiarowymi. Wykorzystywali oni stosunkowo proste instrumenty obserwacyjne, złożone z umieszczonych na statywach: oddzielnej szczeliny metalowej, pryzmatu i lunetki obserwacyjnej (np. Brewster, Wheatstone, Cooper), a czasami obchodzili się nawet bez wspomaganie obserwacji lunetą, za to z ekranem (np. Herschel, Talbot).

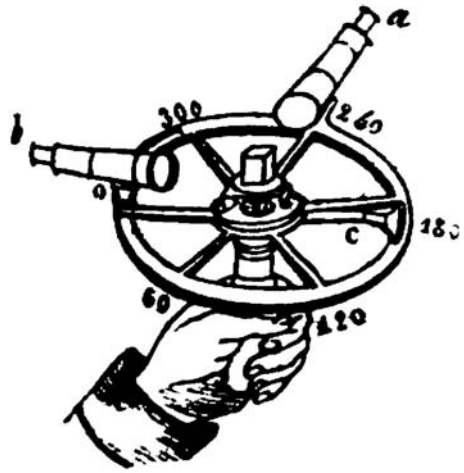
Badaczami, którzy faktycznie dokonali dalszych przełomów w ulepszaniu i konstrukcji aparatu spektroskopowego, a co za tym idzie, przyczynili się do zapoczątkowania również kwantytatywnych badań widma liniowego, nie byli bynajmniej, uznani w pierwszej połowie XIX wieku, eksperymentalni filozofowie przyrody, lecz mniej znani przyrodnicy i wytwórcy przyrządów naukowych. Obok Fraunhofera, w tej niezbadanej w ramach dotychczasowej historiografii nauki kwestii, na uwagę zasługują jeszcze, do 1839 r., co najmniej trzy inne nazwiska: angielskiego wytwórcy przyrządów astronomicznych Williama Simmsa (1793–1860), francuskiego fizyka i wynalazcy Jacques'a Babineta (1794–1872) oraz francuskiego zoologa Félix'a Dujardina (1801–1860). Po roku 1839, a przed 1859, wśród pomysłodawców lub konstruktorów aparatury spektroskopowej należy z kolei wyróżnić co najmniej trzy dalsze nazwiska: niemieckiego konstruktora instrumentów naukowych Moritza Meyersteina, wspomnianego już włoskiego fizyka Francesca Zantedeschiego oraz angielskiego chemika i wynalazcy Williama Crookesa (1832–1919).

W latach 30. XIX wieku w środowisku wytwórców instrumentów optycznych wciąż aktualnym tematem było uzyskanie wysokiej jakości szkła. W szczególności brytyjscy konstruktorzy nadal odczuwali przewagę wytwórców niemieckich (w tym wiodącej monachijskiej firmy prowadzonej przez kontynuatorów dzieła Fraunhofera). Jeden z nich, William Simms, współwłaściciel znanej londyńskiej manufaktury instrumentów naukowych Troughton & Simms, w czerwcu 1839 przedstawił na forum Royal Astronomical Society sprawozdanie z własnych badań próbek szkła optycznego pochodzących od różnych wytwórców. Ponieważ w swoich pracach posługiwał się techniką wyznaczania współczynników refrakcji i dyspersji bardzo podobną do metody Fraunhofera, wykorzystywał także do tego celu słoneczne linie absorpcyjne. W swoim wystąpieniu i późniejszym artykule (Simms 1840) zaprezentował przy tej okazji również nowy typ aparatu do obserwacji widma (ryc. 7). Oprócz lunetki obserwacyjnej wycelowanej na ściankę pryzmatu został on zaopatrzony w dodatkową lunetkę, zwaną kolimatorem (Simms jako pierwszy wprowadził tę nazwę do instrumentarium spektroskopowego), zbierającą promienie światła z jego źródła i rzucającą je w postaci wiązki równoległej na drugą ściankę.

Wprowadzenie kolimatora do aparatu spektroskopowego stanowiło przełom w tego rodzaju instrumentarium. Ze względu na to, że regulowana szczelina została połączona na trwałe z kolimatorem, uległy znacznemu zmniejszeniu



Ryc. 7. Przyrząd Simmsa
(Simms 1840, s. 168)



Ryc. 8. Goniometr Babineta
(Beudant 1841, s. 68)

wymiary całego układu obserwacyjnego (w obserwacjach Fraunhofera oddalona szczelina w okiennicy wpływała znacząco na wielkość całej aparatury, która zajmowała kilka do kilkunastu metrów). Można przypuszczać, że budowa tego aparatu została oparta na konstrukcji teodolitu, pochodzącego z zakładu rzemieślniczego Simmsa i Edwarda Troughtona (1753–1835). Urządzenie dwulunetowe Simmsa (podobnie jak aparat Fraunhofera) wykorzystywało linie widmowe do wyznaczania współczynników refrakcji, a zarazem było nowatorskim aparatem spektroskopowym, mogącym służyć do obserwacji samego widma, nie zostało jednak od razu rozpowszechnione w środowiskach przyrodników. Jak się wydaje, zarówno kontekst typowo techniczno-pragmatyczny tego wynalazku, jak i rola społeczna, jaką odgrywał sam Simms jako rzemieślnik i wytwórca przyrządów badawczych, w znacznym stopniu mogły przyczynić się do braku szerszego zainteresowania się nim wśród ówczesnych potencjalnych badaczy widma.

Londyński wytwórca instrumentów naukowych nie był jedynym, który wprowadził istotne ulepszenie aparatu spektroskopowego. W maju tego samego 1839 r. François J.D. Arago (1786–1853) na zebraniu francuskiej Académie des Sciences, w imieniu Babineta, zaprezentował skonstruowany (przypuszczalnie zupełnie niezależnie od prac Simmsa) przez tego ostatniego nowy typ goniometru odbiciowego (Arago 1839). Podobnie jak w przypadku aparatu Simmsa, przyrząd Babineta składał się z dwóch lunetek – kolimacyjnej oraz obserwacyjnej – i był przeznaczony do krystalograficznych pomiarów nie tylko kątów między ścianami kryształów, ale także współczynników refrakcji różnych substancji (ryc. 8). Co prawda Arago w swoim wystąpieniu nic nie wspomniał o możli-

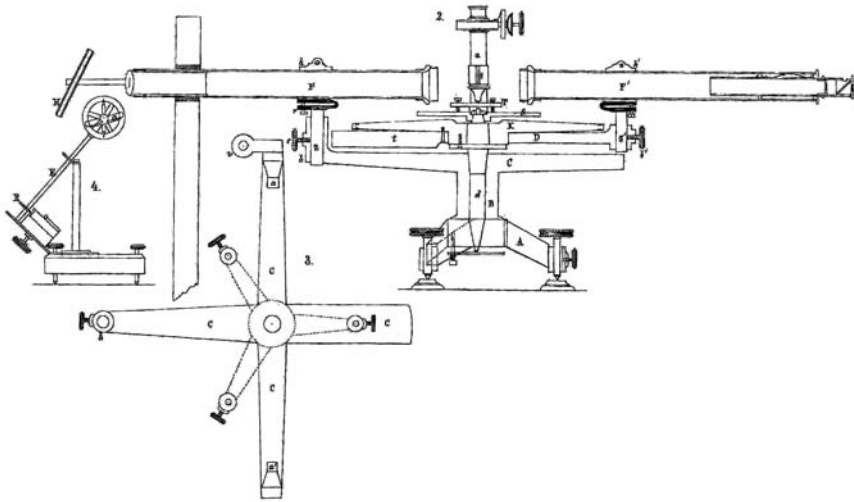
wości przeprowadzania z użyciem tego instrumentu także obserwacji widm, ale niedługo trzeba było czekać, by goniometr Babineta znalazł również i takie praktyczne zastosowanie. W funkcji spektroskopu na początku lat 50. XIX wieku wykorzystywał go m.in. Antoine-Philibert Masson (1806–1860) (do obserwacji widma iskier elektrycznych), a później także Julius Plücker (1801–1868) i Volkert S.M. van der Willigen (1822–1878).

W tym miejscu konieczna jest pewna ważna uwaga. Wprowadzenie kolimatora do przyrządu służącego do obserwacji widma przez Simmsa i Babineta, w dalszej perspektywie, uczyniło zeń typ spektroskopu, w swojej podstawowej strukturze konstrukcyjnej, ale i przynajmniej w potencjalnie pojętej funkcji, niemal identyczny z pierwszym aparatem wykorzystanym do badań przez Kirchhoffa i Bunsena. Ich prace i wynalazek Simmsa oraz Babineta dzieli aż 20 lat, co stanowi wystarczający powód, by odrzucić anachroniczne i mitologiczne zarazem wyobrażenie o pierwszeństwie obu niemieckich uczonych w zbudowaniu pierwszego spektroskopu optycznego.

Rok 1839 można uznać za zupełnie wyjątkowy, w odniesieniu do powstałych nowych typów aparatury spektroskopowej. W tym samym wydaniu ówczesnego prestiżowego periodyku „Comptes Rendus”, w którym ukazał się komunikat o wynalezieniu goniometru Babineta, swój niespełna półstronicowy komunikat zamieścił także francuski uczone Félix Dujardin (1839). Być może dlatego, że był on bardziej znany jako zoolog, jego tekst dotyczący budowy nowatorskiego przyrządu optycznego umknął zupełnie późniejszym historykom nauki. Tymczasem w dość oszczędnych słowach Dujardin zaprezentował w nim ideę nowego typu aparatu spektroskopowego, który na początku lat 60. XIX wieku został nazwany spektroskopem *à vision directe*, czyli prostego widzenia. Co więcej, do dnia dzisiejszego za jego wynalazcę uznaje się powszechnie, choć przypuszczalnie niesłusznie, włoskiego optyka i astronoma Giovanniego B. Amici (1786–1863), który miał wpaść na jego pomysł dopiero ok. 1860 r. (zob. Rodzeń 2009).

Charakterystyczną cechą nowego typu spektroskopu, zaproponowanego przez Dujardina, było to, że jego optyka składała się nie z jednego, a co najmniej z trzech pryzmatów, na przemian flintowych i kronowych, o tak dobranych właściwościach, by padający promień, choć ulegający rozszczepieniu, doznawał jedynie minimalnego odchylenia po wyjściu z instrumentu. W ten sposób spektroskop przyjął postać przypominającą zwykłą lunetę. Warto dodać, że już w latach 60. XIX wieku spektroskop prostego widzenia stał się niezwykle popularny nawet w takich dziedzinach, jak meteorologia czy metalurgia (por. Hentschel 2002a, s. 160, 290).

Wśród konstruktorów i pomysłodawców, którzy po 1839 r., a szczególnie w połowie lat 50. XIX wieku, wysunęli swoje propozycje budowy aparatury służącej do wyznaczania współczynników refrakcji i dyspersji rozmaitych substancji, znalazł się niemiecki wytwórca przyrządów naukowych Moritz Meyerstein. W 1856 r. zaprezentował on w publikacji wariant aparatu dwulunetowego, któ-



Ryc. 9. Spektrometr Meyersteina (Meyerstein 1856, pl. II, ryc. 2, 3, 4)

ry nazwał jako pierwszy „spektrometr” (Meyerstein 1856)²⁸. Jak się dzisiaj wydaje, była to najdojrzalsza wersja spektroskopu optycznego dwulunetowego (ryc. 9), która pojawiła się przed rokiem 1860, a więc jeszcze przed wspólną publikacją Bunsena i Kirchhoffa na temat analizy spektrochemicznej. Za pomocą zamontowanych na spektrometrze Meyersteina dwóch mikroskopów mikrometrycznych można było odczytywać kąty na kole podziałowym z dokładnością nawet 1'' (dla spektroskopu Fraunhofera dokładność wynosiła 4''), co świadczy o dużej precyzji urządzenia (zob. Meyerstein 1860; także Fraunhofer 1821, s. 7).

O ile wiadomo, mimo zaawansowanej technicznie konstrukcji tego spektrometru, sam Meyerstein nigdy nie zgłaszał roszczeń do pierwszeństwa w jego wynalezieniu. Warto wspomnieć, że jego spektrometr, już jako artykuł handlowy, przeszedł w ciągu kilkunastu lat od jego zbudowania interesującą ewolucję. Za pomocą jego wersji z 1861 r., oprócz obserwacji widma, można było wykonywać także pomiary goniometryczne, a w wersji z 1870 r. mógł jeszcze dodatkowo służyć jako polarymetr (zob. Hentschel 2005, s. 192–199). Na zakończenie warto dorzucić, że renoma przyrządu Meyersteina musiała być w drugiej połowie XIX wieku niemała, jeśli w powszechnie znanej niemieckojęzycznej encyklopedii Meyera (1885–1892, s. 121), jego ilustracja i opis posłużyły do opracowania hasła „spektrometr” w wydaniu z 1888 r.

Wspominaliśmy wyżej o udziale fizyka włoskiego Zantedeschiego w kontrowersji dotyczącej pierwszeństwa w wynalezieniu spektroskopu typu dwu-

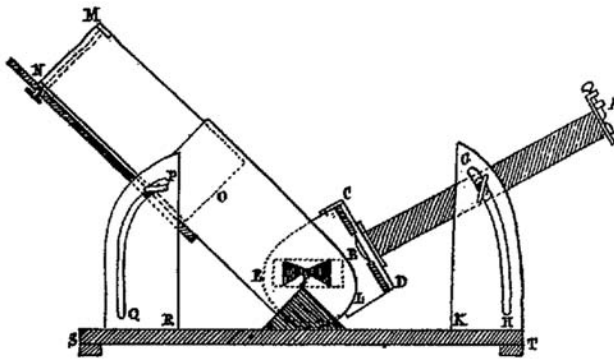
²⁸ Niemal równocześnie taką samą nazwę wprowadził Zantedeschi (1856). Z kolei nazwy „spektroskop”, jak się wydaje, po raz pierwszy użył w marcu 1861 r. szwajcarski fizyk Joseph R.A. Mousson (1805–1890) (Mousson 1861, s. 228).

ramiennego. Zgodnie z jego własną relacją, korzystając z pomocy włoskiego optyka Ignazia Porro (1801–1875), znanego m.in. z wynalezienia, stosowanej powszechnie po dzień dzisiejszy, optyki do lornetek, Zantedeschi skonstruował w pierwszej połowie lat 50. XIX wieku oryginalny aparat do obserwacji widma. Z historycznego punktu widzenia ważne może się wydać to, że w 1856 r. włoski uczyony, niemal równocześnie z Meyersteinem, posłużył się nazwą „spektrometr” (*spettrometro*) (Zantedeschi 1856).

Na koniec tej części pracy wróćmy jeszcze do roku 1839, który, jak się okazuje, był niezwykle także z innego powodu. W sierpniu tego roku Arago w imieniu Louisa J.M. Daguerre’a (1787–1851) przedstawił na forum paryskiej Akademii Nauk i Akademii Sztuk Pięknych wynalazek fotografii, a John Herschel jako pierwszy nazwał proces negatywowo-pozytywowy Talbota „fotografią”. Było rodzajem zbiegu okoliczności to, że komunikat Arago został zamieszczony w tym samym wydaniu francuskiego periodyku naukowego „Comptes Rendus”, w którym ukazała się zarówno jego prezentacja goniometru Babineta, jak i komunikat Dujardina o spektroskopie prostego widzenia. Poza tym, jak widać chociażby po samych nazwiskach, zainteresowanie procesem fotograficznym wykazywali ci przyrodnicy, którzy żywo interesowali się w tym czasie także obserwacją widma. Nic dziwnego, że już wkrótce doszło także do bliższego spotkania badań widmowych z młodymi technikami fotograficznymi. Próby takie, choć początkowo nieudane, podjął już w 1840 r. John Herschel.

W latach 1842–1843 Francuzowi A. Edmondowi Becquerelowi (1820–1891) i Amerykaninowi Johnowi W. Draperowi (1811–1882) udało się uzyskać pierwsze fotografie dagerotypowe ciemnych linii widma słonecznego. Budowa ich aparatury nie była jeszcze zbyt skomplikowana i sprowadzała się do konstrukcji (nawet bez kolimatora), w której lunetkę obserwacyjną zastępowała jedna lub kilka soczewek rzutuujących rozszczepioną wiązkę światła na płytę pokrytą substancjami światłoczułymi (zob. Hearnshaw 2009, s. 11). Można sądzić, że pierwszy aparat służący do fotografowania widma i zarazem realizujący schemat spektroskopu dwuramiennego, który można nazwać „spektrografem” (choć nazwa ta pojawia się dopiero w latach 90. XIX wieku), został zbudowany jeszcze przed 1856 r. przez angielskiego chemika Williama Crookesa (1856; zob. także Kayser 1900, s. 626). On sam nazwał go „kamerą widmową” (*spectrum camera*). Ponieważ zastosował soczewkę i dwa pryzmaty kwarcowe, aparatem tym można było utrzymywać również obrazy widma z zakresu nadfioletu. Jak się przypuszcza, za pomocą instrumentu zbliżonego w swojej budowie do pierwotnego projektu Crookesa (ryc. 10), uczyony ten odkrył w 1861 r. nowy pierwiastek chemiczny – tal (zob. James 1984)²⁹.

²⁹ Obok konstrukcji Mayersteina, Zantedeschiego-Porro i Crookesa należałoby jeszcze wspomnieć o wykorzystaniu do eksperymentów spektrometrów z kolimatorem przez Williama Swana (1849; 1856). W pierwszym doświadczeniu refraktometrycznym z kryształem szpatu islandzkiego z 1847 r. badacz ten dysponował zmodyfikowanym teodolitem Troughtona, a w drugim, przy obserwacji spektroskopowej płomieni

Ryc. 10. *Spectrum camera* Crookesa (Crookes 1856)

5. Na początku były... teodolity

W początkach aparatury spektroskopowej w latach 1810–1860, uderza nas fakt częstego wykorzystywania przez zainteresowanych obserwacją widma rozmaitych konstrukcji teodolitów, stosowanych normalnie zarówno w geodezji, jak i astronomii. Teodolity von Reichenbacha wykorzystał w budowie swoich refraktometrów-spektrometrów Fraunhofer. Zmodyfikowany teodolit z pionowym kołem podziałowym zastosował Baden Powell (1796–1860) (Powell 1836). Wykorzystując elementy konstrukcyjne, przypuszczalnie, teodolitu, swój refraktometr z kolimatorem zbudował także Simms. W końcu do obserwacji i pomiarów zmodyfikowane teodolity Adiego i Troughtona wykorzystał Swan. Znaczna liczba takich rozwiązań konstrukcyjnych skłania do postawienia uzasadnionego pytania, czy był to tylko przypadek, czy też rodzaj bardziej określonej prawidłowości. Poza tym takie pytanie czyni zadość naszej ciekawości tego, co było wcześniej, tzn. jak daleko sięga rodowód technologiczno-badawczy pierwszych typów spektroskopu³⁰.

Chcąc przynajmniej zbliżyć się do odpowiedzi na postawione pytania, należy cofnąć się w przeszłość, wychodząc poza pierwsze refraktometry Fraunhofera, i postawić inne, bardziej ogólne pytanie o stan instrumentarium optycznego w pierwszej dekadzie XIX, a także w XVIII wieku. Jest ono samo w sobie nie-

węglowodorów, wykorzystał zmodyfikowany teodolit edynburskiego rzemieślnika Johna Adiego (1835–1881).

³⁰ Należy przy tym zauważyć, że tematyka wyrażona w ostatnim pytaniu jak dotąd nie doczekała się nawet częściowego opracowania historycznego, stąd próba odpowiedzi na nie, a co za tym idzie, także odpowiedzi na sformułowane wyżej pytanie o pobudki wykorzystania teodolitów do obserwacji widma światłowego, będzie miała charakter jedynie wstępny i hipotetyczny.

zwykle interesujące, zwłaszcza że część przyrodników i historyków nauki jest zdania, iż głównie ze względu na przytłaczający autorytet Newtona, w optyce XVIII-wiecznej nie nastąpiły jakieś szczególnie przełomowe wydarzenia (por. np. Wróblewski 2007, s. 313; Römer 2005, s. 9)³¹. Z drugiej strony specjaliści od dziejów optyki nowożytnej, jeśli nawet przeprowadzają analizę tego okresu, koncentrują się niemal wyłącznie na kwestiach natury teoretycznej (zob. Cantor 1983; Shapiro 1993; Hakfoort 1995). Ewentualne postawienie problemu przyrządów optycznych kończy się zazwyczaj przywołaniem zarysu ewolucji jedynie teleskopu astronomicznego i mikroskopu (np. Deiman 2003)³².

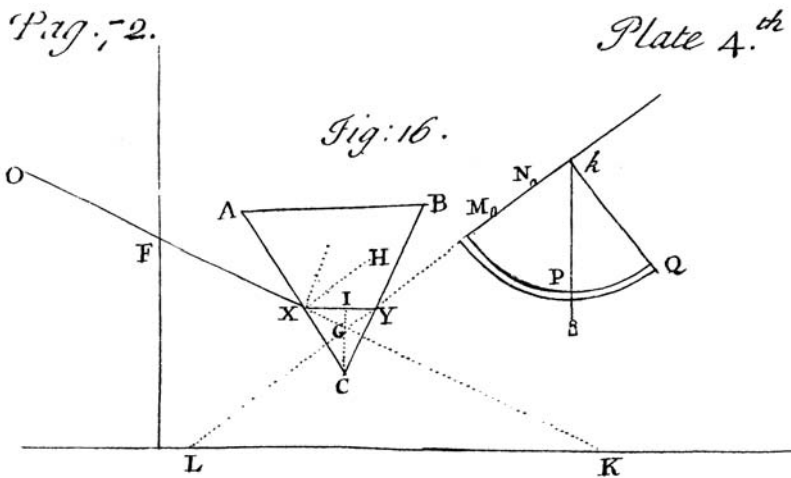
Kiedy zwrócimy się w stronę historyków przyrządów naukowych, spotka nas kolejne zaskoczenie. Przeglądając np. cenioną pracę poświęconą instrumentarium badawczemu w XVII i XVIII wieku, autorstwa Maurice'a Daumasa (1910–1984), w dziale poświęconym XVIII-wiecznym przyrządom fizycznym znajdziemy stosunkowo obszernie omówione m.in. barometry, termometry, pompy próżniowe i maszyny elektrostatyczne. Jeden krótki akapit autor ten poświęcił komparatorowi optycznemu, działającemu w połączeniu z dylatometrem (mierzącym rozszerzalność cieplną rozmaitych ciał) w badaniach nad ciepłem Antoine'a Lavoisiera (1743–1794) i Pierre'a S. de Laplace'a (1749–1827). Natomiast wspomniał on tylko, wymieniając nazwę, o refraktometrach i fotometrach (Daumas 1972, s. 206, 214). Z kolei Gerard L'E. Turner, omawiając w 1969 r. źródła do badań dziejów przyrządów optycznych, mając na myśli wiek XVIII i początek XIX, stwierdził zdawkowo, iż takie przyrządy jak polaryskop, spektroskop, fotometr i aparatura krystalograficzna „jak dotąd nie były przedmiotem badań historycznych” (Turner 1969, s. 55, 72)³³.

Pozostawiając na inną okazję próbę syntetycznego przedstawienia fizycznego, a nie tylko astronomicznego, instrumentarium optycznego w XVIII wieku, dla potrzeb niniejszego opracowania zwróćmy jedynie uwagę na rozwój w tym okresie technik refraktometrycznych (sposobów wyznaczania współczynników załamania światła i zdolności dyspersyjnej ciał w różnym stanie skupienia). Jak

³¹ Wróblewski wymienia tylko pewne charakterystyczne dla XVIII wieku innowacje, zasadniczo techniczne, takie jak wynalazek soczewki achromatycznej (pojawia się nazwisko Johna Dollonda) oraz rozwinięcie badań fotometrycznych przez Johanna Lamberta (1728–1777) i wynalazek fotometru dokonany przez Pierre'a Bouguera (1698–1758).

³² Wyjątkiem w tej perspektywie historiograficznej jest monografia Chena (2000), w której autor przeprowadził bardziej szczegółową analizę znaczenia fizycznych przyrządów optycznych na tle rozwoju ujęć teoretycznych od XVII do XIX wieku. Ale i on już na wstępie zauważył, że interesują go nie tyle same przyrządy, co sposoby ich użycia („proceduralny aspekt instrumentarium badawczego” (Chen 2000, s. xv).

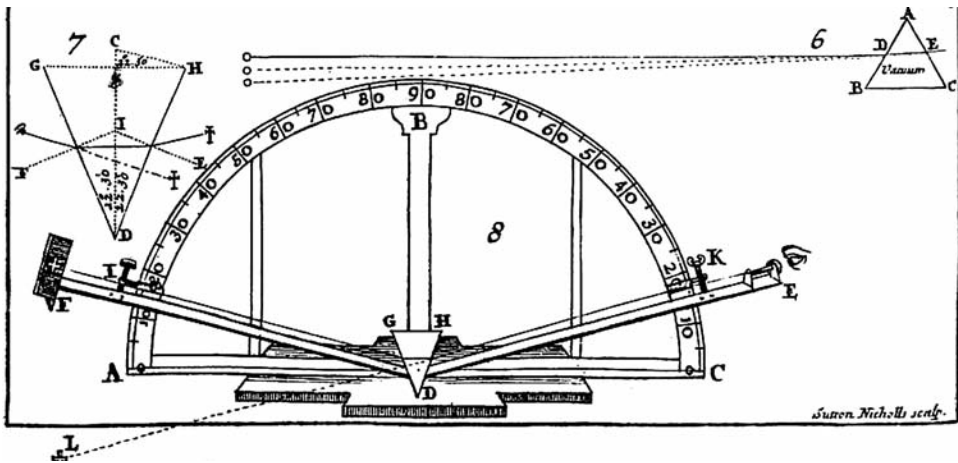
³³ W chwili obecnej dysponujemy już względnie obszernym opracowaniem historii „aparatury krystalograficznej” (zob. Burchard 1998) i artykułem omawiającym dzieje fotometrów (zob. Chen 2005). Nadal brakuje jednak opracowania historii polaryskopów i spektroskopów.



Ryc. 11. Układ optyczny do wyznaczenia współczynników refrakcji (Newton 1728)

się wydaje, pierwsze nowożytnie pomiary tego typu miały miejsce w latach 60. XVII wieku i zostały przeprowadzone w perspektywie dyskusji na temat natury światła i testowania, odkrytego cztery dekady wcześniej przez Willebrorda Snella (1580–1626), prawa załamania światła. Najbardziej znane z nich wykonali Robert Hooke (1635–1703) i Newton. Hooke (1665, s. xxvii) jako jeden z pierwszych badaczy mierzył współczynniki refrakcji cieczy i zbudował do tego celu specjalny przyrząd. Także Newton (1728, s. 51, 61) ok. 1670 r. zbudował refraktometr do cieczy oraz inny, do mierzenia właściwości optycznych pryzmatów szklanych (ryc. 11). W obydwu przypadkach do pomiarów kątów twórca *Optyki* wykorzystał małe astronomiczne kwadranty.

W interesującym nas tutaj szczególnie wieku XVIII można wyróżnić dwa ciągi wydarzeń. Pierwszy wiąże się z coraz popularniejszymi za czasów prezesury Newtona w Royal Society pokazami eksperymentów fizycznych. W marcu 1699 r. John Lowthorp (1659–1724) zademonstrował przed gremium tego Towarzystwa przyrząd do pomiaru refrakcji gazów, złożony m.in. z przezroczystego naczynia na gaz, ręcznej pompy próżniowej i lunetki, służącej do odczytu odchylenia promienia świetlnego (Lowthorp 1699). Z czasem bardziej znane stały się podobne doświadczenia, przeprowadzone z wykorzystaniem aparatu Lowthorpa przez Francisca Hauksbee’go sen. (ok. 1666–1713), jednego z kuratorów eksperymentów w RS, w następstwie których została stwierdzona proporcjonalność między refrakcją powietrza a jego gęstością (Hauksbee sen. 1709). Natomiast jego bratanek Francis Hauksbee jun. (1687–1763) wraz z Williamem Whistonem (*notabene* następcą Newtona na Lucasian Chair of Mathematics w Cambridge) w 1713 r. rozpoczął serię otwartych pokazów eksperymentów, m.in. używając



Ryc. 12. Przyrząd do wyznaczania współczynników refrakcji cieczy
(Whiston, Hauksbee jun. 1714, pl. III, ryc. 8)

niezwykle interesującego przyrządu (ryc. 12) do pomiarów refrakcji cieczy (Whiston, Hauksbee jun. 1714, s. 9)³⁴.

Drugi ciąg wydarzeń, związanych z rozwojem technik refraktometrycznych, wiąże się ściśle z problemem już omawianym krótko we wcześniejszych partiach niniejszego opracowania. Chodzi o zapoczątkowane jeszcze w pierwszej połowie XVIII wieku prace praktyczne i teoretyczne nad zbudowaniem soczewki achromatycznej do obiektywów teleskopów astronomicznych. Jak więc z tego wynika, wbrew opiniom niektórych współczesnych historyków nauki, w tym optyki, dzieje refraktometrii i samych przyrządów służących do pomiarów właściwości optycznych ciał w różnym stanie skupienia faktycznie przedstawiają dość bogate, choć dotychczas zupełnie niezauważone pole badawcze. Warto przy tym zwrócić uwagę na to, że naszkicowana w dużym skrócie ewolucja technik refraktometrycznych będzie miała wpływ na dalszy rozwój optyki zarówno w jej wymiarze tradycyjnym, czyli geometrycznym i fizycznym, jak i dopiero rodzącym się – technicznym.

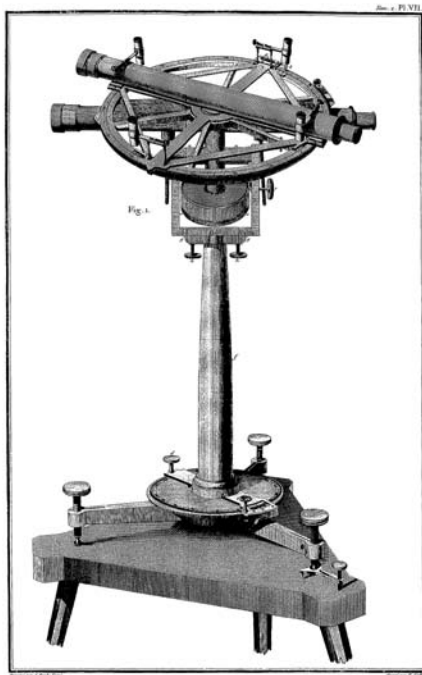
³⁴ Prezentując na domowej stronie internetowej swoją prywatną kolekcję historycznych przyrządów naukowych (jedną z najliczniejszych na świecie), Thomas Greenslade jun. z amerykańskiego Kenyon College wyraził opinię, że przyrząd Hauksbee'go-Whistona przedstawia jedną z najstarszych postaci spektrometru. Jak się wydaje, chociaż faktycznie instrument ten wykazuje pewne analogie konstrukcyjne do znanego od co najmniej 1840 r. typu spektrometru dwuramiennego, okoliczności jego powstania i funkcja skłaniają raczej do ostrożniejszego określenia go mianem wczesnego refraktometru (w korespondencji z autorem niniejszego opracowania z listopada 2009 r. Greenslade nie podjął się skomentowania tej uwagi).

Druga połowa XVIII i początek XIX wieku przedstawiają w fizyce, ale także w astronomii i rodzącej się nowoczesnej chemii, skądinąd bardzo interesujący okres ich dziejów³⁵. Z jednej strony ogromne sukcesy na polu astronomii odnotowywała mechanika nieba. Prace Lavoisiera i Claude'a Louisa Bertholleta (1748–1822) zaczynały nadawać nowoczesne, naukowe kształty rodzącej się chemii. W fizyce natomiast lata 1780–1815 znalazły się pod wpływem unifikujących idei Laplace'a. Próbował on wykorzystać pojęcia Newtonowskiej mechaniki do objęcia nimi wszystkich znanych ówczesnie zjawisk: cieplnych, elektrycznych, magnetycznych, świetlnych, a nawet chemicznych (tu pojawia się ważna idea powinowactwa), postulując istnienie krótkozasięgowych sił między cząsteczkami różnych form materii. Ważnym elementem metodologicznym realizacji tego programu była z jednej strony matematyzacja eksperymentu fizycznego, z drugiej zaś wykorzystanie znanych, ale i tworzenie nowych przyrządów badawczych, niezbędnych do łączenia struktur teoretycznych ze światem empirii (zob. np. Harman 1982, s. 17–19; Fox 1990).

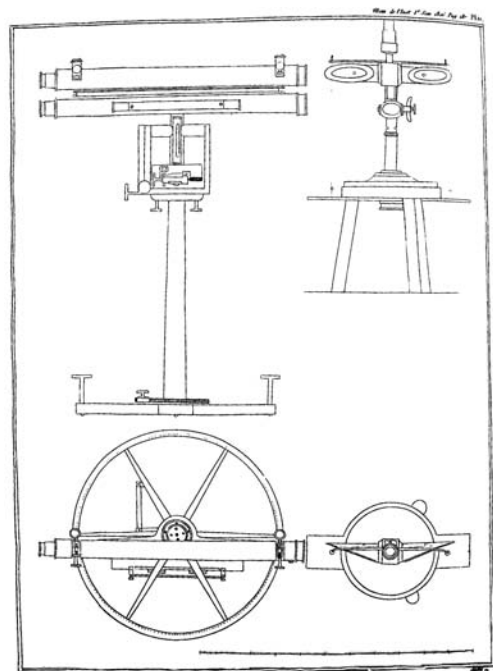
Do kręgu bliskich współpracowników Laplace'a w tym okresie należeli także Jean-Baptiste Biot (1774–1862), Arago i Étienne L. Malus (1775–1812). Wszyscy oni w pierwszej dekadzie XIX wieku poświęcili wiele uwagi zjawiskom optycznym, próbując otrzymane wyniki prowadzonych przez siebie eksperymentów godzić z neonewtonowskimi ideami korpuskularnymi Laplace'a (por. Frankel 1976, s. 141). Idąc po linii pewnych niedokończonych wcześniej przez Jeana-Charles'a de Bordę (1733–1799) doświadczeń z optyki gazów, Biot z Arago zaczęli od 1805 r. prowadzić eksperymenty związane z pomiarem ich refrakcji w zależności od ciśnienia. Uzyskane rezultaty z jednej strony miały znaczenie dla wiedzy dotyczącej właściwości fizycznych atmosfery (ważne dla teleskopowych obserwacji astronomicznych), z drugiej zaś miały potwierdzić Laplace'owską koncepcję oddziaływań międzycząsteczkowych światło–materia (por. Heilbron 1993, s. 61–62; także Lequeux 2008, s. 358–359).

W zbudowanej przez siebie aparaturze pomiarowej Biot i Arago wykorzystali konstrukcję tzw. koła repetycyjnego (ryc. 13 i 14), wynalezioną w 1784 r. przez francuskiego mechanika precyzyjnego Etienne'a Lenoira (1744–1832), a wykonaną przez paryskiego wytwórcę przyrządów naukowych Nicolasa Fortina (1750–1831) (zob. Biot, Arago 1806). Koło repetycyjne Lenoira w tamtym czasie służyło przede wszystkim do pomiarów geodezyjnych. Na szersze przedstawienie historii tego niezmiernie interesującego i ważnego dla nauki przyrządu nie ma tutaj

³⁵ Co sprzeciwia się opinii, zgodnie z którą dla rozwoju nowożytnej i współczesnej fizyki obfitującymi w przełomowe wydarzenia są przede wszystkim wiek XVII (rewolucja naukowa), a później druga połowa XIX (unifikacja nauki o energii, koncepcja pola, unifikacja maxwellowska) i w końcu początek XX wieku (dwie rewolucje – kwantowa i relatywistyczna).



Ryc. 13. Koło repetycyjne Lenoira
(Méchain, Delambre 1807, pl. VII)



Ryc. 14. Aparatura do wyznaczania
współczynników refrakcji gazów
(Biot, Arago 1806, pl. VI)

miejsca (zob. Daumas 1972, s. 183–187)³⁶. Wystarczyć musi jedynie informacja, że ucieleśniał on tzw. zasadę repetycji, opracowaną w latach 50. XVIII wieku przez niemieckiego astronoma i matematyka Tobiasa Mayera (1723–1762), która to zasada pozwalała na redukcję błędów związanych m.in. z obserwacją i odczytem wyników pomiarów. Sławy kołu repetycyjnemu Lenoira przysporzyły zwłaszcza francuskie triangulacyjne pomiary długości łuku południka paryskiego między Dunkierką a Barceloną w 1792 r., które stały się podstawą do wyznaczenia wzorca jednego metra³⁷. *Notabene* Biot i Arago sami wykonali za jego pomocą szereg ważnych pomiarów geodezyjnych.

³⁶ Nie wszyscy historycy nauki nazywają ten przyrząd kołem repetycyjnym Lenoira. Niektórzy określają go mianem koła Bordy wykonanym przez Lenoira. Wynika to m.in. z tego, że skonstruowane przez Bordę, przeznaczone do użytku w nawigacji morskiej, tzw. koło odbiciowe Lenoir zaadaptował, po dodatkowych modyfikacjach, do użytku geodetów. Kompromisem byłoby być może nazywanie tego instrumentu kołem Lenoira-Bordy.

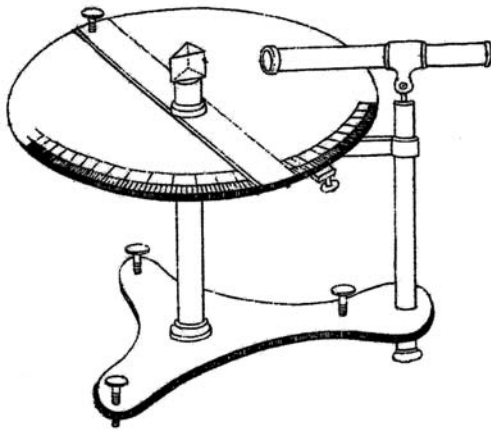
³⁷ Cztery lata wcześniej, w 1788 r., koło repetycyjne Lenoira zostało wykorzystane przez astronomów i geodetów francuskich do wspólnej z angielskimi uczonymi korekty różnic w pomiarach południka Greenwich, zgłaszanych przez obserwatoria astronomiczne w Paryżu i Londynie. Strona angielska wykonywała swoją część pomiarów z użyciem

W perspektywie fizyki laplace'owskiej swoje eksperymenty optyczne, niemal w tym samym czasie co Biot i Arago, zaczął przeprowadzać również Malus. Szczególnym przedmiotem jego zainteresowania stało się zjawisko podwójnego załamania światła, które zachodzi w niektórych kryształach (dwójłomność) i wiąże się z jego polaryzacją. Mocno zaangażowany w te badania, w 1808 r. Malus odkrył przez przypadek nowe zjawisko polaryzacji światła przez odbicie. Prowadząc dalsze obserwacje i pomiary z kryształami dwójłomnymi, francuski uczony, podobnie jak wcześniej Biot i Arago, wykorzystał również, zmodyfikowane dla własnych potrzeb, koło repetycyjne Lenoira (zob. Malus 1811, s. 307, 309–310).

Jak więc widać, przyrząd ten, wcześniej wykorzystywany tylko w praktyce pomiarów geodezyjnych i astronomicznych, w rękach Biota, Arago i Malusa stał się instrumentem typowo fizycznym, a ściślej, zgodnie z ówczesną terminologią, filozoficznym w sensie filozofii eksperymentalnej. I co istotne, jego nową dziedziną zastosowania stała się refraktometria, co łączy go z nowożytną tradycją podobnych pomiarów, zapoczątkowaną w XVII wieku m.in. przez Newtona. Warto przy tym dopowiedzieć, że na ten fakt, zwłaszcza w kontekście krótko przedstawionej wyżej dyskusji nad historiografią instrumentarium optycznego przełomu XVIII i XIX wieku, jak dotąd zwróciło uwagę jedynie dwóch współczesnych historyków nauki: Jed Z. Buchwald i John L. Heilbron. Ten pierwszy m.in. stwierdził: „z racji swojej dokładności przyrząd ten [koło repetycyjne Lenoira – J.R.] wyróżnia eksperymenty Malusa w stosunku do wszystkich wcześniejszych” (Buchwald 1989, s. 33). Z kolei drugi autor pisze: „sukces Malusa [...] wprowadził optykę eksperymentalną na nowy poziom precyzji. Umożliwiło to właśnie koło Bordy [Lenoira – J.R.]” (Heilbron 1993, s. 64).

Prace innowacyjne Malusa, jak się okazuje, nie polegały tylko na wykorzystaniu w eksperymentach optycznych koła repetycyjnego Lenoira. Pod koniec czerwca 1810 r., na dwa lata przed swoją przedwczesną śmiercią, francuski fizyk zaprezentował na forum *Première Classe* Narodowego Instytutu Nauk i Sztuk (do 1816 r. odpowiednika przedrewolucyjnej Akademii Nauk) nową konstrukcję goniometru odbiciowego repetycyjnego (ryc. 15) z poziomym kołem i naniesioną na nim podziałką kątową oraz równoległą do jego płaszczyzny małą lunetką obserwacyjną. W jego wykonaniu pomagał Malusowi (1817, s. 127) paryski rzemieślnik Fortin, który – jak pamiętamy – wytwarzał w tym czasie również koła repetycyjne Lenoira. Goniometr repetycyjny Malusa miał przede wszystkim służyć pomiarom krystalograficznym, ale jego budowa umożliwiała także wykonywanie pomiarów kąta załamania światła, a więc mógł być wykorzysta-

konkurencyjnego wobec przyrządu Lenoira, specjalnego teodolitu, wykonanego na tę okoliczność przez angielskiego konstruktora Jessego Ramsdena (1735–1800) (na ten temat zob. Alder 2003, s. 43 i nast.).



Ryc. 15. Goniometr repetycyjny Malusa
(Biot 1816, pl. II)

ny w refraktometrii³⁸. Jak twierdzi Ulrich Burchard (1998, s. 544), był to pierwszy goniometr z kołem poziomym i lunetką obserwacyjną. Na gruncie historiografii instrumentarium krystalograficznego jego późniejszym ulepszeniem miał stać się goniometr dwulunetowy (z kolimatorem) Babineta (Arago 1839, s. 710), który był wykorzystywany również w funkcji spektroskopu.

Odpowiadając na postawione w tej części niniejszego studium pytanie o dużą częstotliwość wykorzystywania przez pierwszych spektroskopistów na przestrzeni pół wieku konstrukcji zmodyfikowanych

teodolitów, należy stwierdzić, że nie było to z pewnością dziełem przypadku. Rodząca się dziedzina obserwacji widma nie miała jeszcze swoich autonomicznych przyrządów badawczych, a teodolity (czy ogólniej: określone kątomierze instrumenty geodezyjne) posiadały te podstawowe elementy (głównie koło z podziałką kątową i lunetki obserwacyjne), które – po pewnych przeróbkach – mogły służyć do badań refraktometrycznych, a co za tym idzie także spektroskopowych. Tak było z teodolitem von Reichenbacha, który wykorzystał Fraunhofer (refraktometria szkła optycznego oraz obserwacje i pomiary linii widmowych) i kołem repetycyjnym Lenoira, które wykorzystali Arago, Biot i Malus (refraktometria gazów i kryształów).

Choć może to przyjąć formę zbyt daleko idącej analogii lub porównania, a na pewno ujęcia spekulatywnego, warto również na koniec niniejszego opracowania zwrócić uwagę na pewne uderzające podobieństwa w elementach budowy goniometru repetycyjnego Malusa i refraktometru-spektroskopu Fraunhofera (np. obecność analogicznego koła podziałowego i lunetki obserwacyjnej). Istnieją także wyraźne analogie w związkach między przyrządem Malusa a kołem repetycyjnym Lenoira oraz między przyrządem Fraunhofera a teodolitem von Reichenbacha. Zarówno goniometr Malusa, jak i spektroskop Fraunhofera mogły służyć w podobnej funkcji – jako refraktometry. Wreszcie obydwie powstały najprawdopodobniej niezależnie od siebie, w zbliżonym czasie, czyli ok. roku 1810. Co więcej, poruszając się już na granicy dopuszczalnych ujęć spekulatywnych, warto zauważyć, że tak jak goniometr Malusa znalazł swoje ulepszenie w go-

³⁸ Nie ma jak dotąd świadectw historycznych na to, że goniometr Malusa był wykorzystywany w obserwacjach refraktometrycznych, a tym bardziej spektroskopowych.

niometrze Babineta, tak – a nawet w podobnym czasie (rok 1839), choć również niezależnie od siebie – spektroskop jednolunetowy Fraunhofera znalazł swoje ulepszenie w aparacie refraktometrycznym (z kolimatorem) Simmsa.

6. Podsumowanie

Na zakończenie niniejszego studium spróbujmy zebrać najważniejsze wnioski, które, jak się wydaje, wynikają z dużą dozą prawdopodobieństwa z przeprowadzonych analiz i poszukiwań. Jednocześnie należy zauważyć, że przedstawiony powyżej tok myślowy i podana w jego ramach faktografia mają charakter jedynie skrótowy i zostaną pełniej zaprezentowane w oddzielnej monografii, poświęconej genezie i ewolucji spektroskopu optycznego w latach 1810–1860.

1. Jakkolwiek próby poszukiwania „prawdziwego wynalazcy” określonego artefaktu technologicznego, choćby nawet o znaczeniu przełomowym dla dziejów nauki lub techniki, nawiązują do historiografii typu internalistycznego, podawanej w ostatnich dziesięcioleciach krytyce w środowisku historyków nauki (por. pracę Staudenmaiera 1985, s. 5–12, 55–56; także Tympassa 2005, s. 486), istnieją, jak się wydaje, ważne argumenty, by w przypadku wynalazku spektroskopu optycznego takie poszukiwania przeprowadzić. Pierwszym argumentem jest obecność nawet w renomowanych publikacjach naukowych opinii, jakoby wynalazcami spektroskopu byli Bunsen i Kirchhoff. Jak się okazuje jednak, szerokie rozpowszechnienie tych opinii budzi kontrowersję w sytuacji, w której nieliczne opracowania z zakresu historii spektroskopii zdają się takim opiniom zaprzeczać. Można sądzić, że czynią to one dość nieskutecznie, bez pogłębionego oparcia na materiale źródłowym do dziejów spektroskopii, a spektroskopu optycznego w szczególności. Dlatego, w obliczu nielicznych, niepełnych i nieopartych materiałem źródłowym opracowań historycznych tego zagadnienia, postawienie pytania o faktycznego wynalazcę lub wynalazców spektroskopu wydaje się w znacznej mierze uzasadnione.

2. Biorąc pod uwagę prace z zakresu badań widmowych, przeprowadzone w latach 1857–1862 przez Bunsena i Kirchhoffa, powinno się odróżniać dokonania samego Bunsena, lub Bunsena ze współpracownikami (poza Kirchhoffem), następnie samego Kirchhoffa i w końcu wspólne Bunsena i Kirchhoffa. Interesując się przede wszystkim liniami Fraunhofera, Kirchhoff postulował ich wyjaśnienie w kategoriach absorpcji promieniowania, ustalając przy tym prawo zależności między zdolnością emisyjną a absorpcyjną. Konsekwencją tych rozważań było sformułowanie koncepcji fizycznej i chemicznej budowy Słońca, mające istotne znaczenie dla rozwijania obserwacji z zakresu astrofizyki. Wspólne badania Bunsena i Kirchhoffa doprowadziły przede wszystkim do ugruntowania analizy spektrochemicznej jako nowej techniki badawczej w chemii. Spektakularną konsekwencją tego dokonania była identyfikacja, metodą spektroskopową, a co

za tym poszło, także odkrycie nieznanych wcześniej pierwiastków chemicznych – cezu i rubidu. Indywidualny wkład Bunsena, samego lub ze współpracownikami, polegał głównie na zapewnieniu wysokich standardów analizy chemicznej. Istotnymi elementami tego wkładu były przede wszystkim: nowy typ palnika, wynaleziony przez Bunsena, oraz szereg technik związanych z minimalizacją wpływu zanieczyszczeń na poddawane analizie spektrochemicznej próbki. Jednocześnie należy dodać, że budując swój aparat spektroskopowy (wykorzystując optykę von Steinheila), a dokładniej pewien określony jego typ (dwulunetowy), Bunsen z Kirchhoffem nigdzie wyraźnie nie wypowiedzieli się na temat inspirujących ich w tym przedsięwzięciu osób lub rozwiązań konstrukcyjnych.

3. W ramach tradycyjnej historiografii nauki dokonania Josepha Fraunhofera były niejednokrotnie sprowadzane głównie do współodkrycia ciemnych linii w widmie światła słonecznego, zainicjowania obserwacji spektroskopowych oraz konstruowania, znanych ze swojej wysokiej jakości, przyrządów astronomicznych. Mniej miejsca, a tym bardziej pogłębionych studiów, poświęcono natomiast z jednej strony korzeniom tych dokonań, postrzeganych w perspektywie dziejów optyki fizycznej i technicznej, z drugiej zaś podkreśleniu fundamentalnych jego osiągnięć na gruncie wczesnego instrumentarium spektroskopowego. Co do pierwszej kwestii, należy dostrzec związek prac niemieckiego optyka i fizyka z rozwijającą się od co najmniej połowy XVII wieku tradycją badań refraktometrycznych, głównie dotyczących eliminacji efektu aberracji chromatycznej w obiektach budowanych teleskopów astronomicznych. Co do drugiej kwestii, należy z kolei zauważyć wykorzystanie w analogicznych pracach, prowadzonych przez Fraunhofera w dwóch pierwszych dekadach XIX wieku, dostępnego w tym okresie optycznego instrumentarium pomiarowego, w szczególności teodolitów (lata 1810–1823). Modyfikacja tych ostatnich (w wariantach konstrukcyjnych von Reichenbacha) dla potrzeb refraktometrycznych doprowadziła optyka ze Straubing do wynalezienia dwóch pierwszych typów spektroskopu (aparatu do obserwacji widma liniowego) optycznego – pryzmatycznego i siatkowego. Trzeci typ spektroskopu, stanowiący połączenie teleskopu z pryzmatem (obiektywowym), należy potraktować również jako wkład Fraunhofera do rozwoju instrumentarium astronomicznego.

4. Na lata następujące bezpośrednio po publikacji ostatniej pracy „spektroskopowej” (1823 r.) Fraunhofera przypadają nie tylko pogłębienie wiedzy i pierwsze próby eksplanacyjne z zakresu wczesnych obserwacji spektroskopowych, co odnotowują dostępne, choć nieliczne, opracowania historyczne, ale także ewolucja instrumentarium spektroskopowego, co – jak dotąd – nie znalazło pogłębionego ujęcia w literaturze przedmiotu. Ewolucja ta charakteryzowała się pewnymi etapami, wyznaczanymi, z perspektywy późniejszej, przede wszystkim kolejnymi wynalazkami i innowacjami technicznymi. Jeśli za pierwszy etap tego procesu można uznać okres budowy aparatury widmowej przez Fraunhofera, to okres następnym obejmowałby lata 1823–1839. Przed rokiem 1839 nie ujawniły się ja-

kieś znaczące konstrukcje nowych typów spektroskopu. Zazwyczaj do obserwacji widma wykorzystywano proste układy, złożone z niezależnej szczeliny, pryzmatu oraz lunetki obserwacyjnej albo ekranu. Zasadniczo też nie prowadzono badań ilościowych. Około 1839 r., niemal jednocześnie, nastąpiło kilka znaczących innowacji technicznych. W tym roku William Simms zaprezentował aparat wykorzystywany w refraktometrii szkła optycznego i wykorzystujący linie Fraunhofera, zaopatrzony w lunetkę kolimacyjną wraz z regulowaną szczeliną. Także Jacques Babinet, niezależnie od Simmsa, zaproponował nowy typ goniometru odbiciowego z lunetkami obserwacyjną i kolimacyjną, który mógł być wykorzystywany do celów refraktometryczno-spektroskopowych, co stało się dość powszechne, ale dopiero po roku 1850. Rozwiązanie techniczne Simmsa i Babineta należy uznać za nowy typ spektroskopu – dwulunetowego (dwuramiennego). Wreszcie, w tym samym 1839 r. Félix Dujardin opublikował ideę skonstruowania jeszcze jednego typu aparatu widmowego, tzw. spektroskopu prostego widzenia. Trzeci i ostatni okres tej ewolucji przypada na lata 1840–1860, a więc bezpośrednio przed pracami spektroskopowymi Bunsena i Kirchhoffa. Okres ten charakteryzował się przede wszystkim dość powolnym wdrażaniem do badań widmowych aparatu typu dwuramiennego i próbami rozwijania jego konstrukcji (Swan, Zantedeschi). Na uwagę zasługuje wariant tego typu przyrządu wprowadzony przez Moritza Meyersteina w 1856 r., pierwszego autonomicznego (tzn. nieopartego ani na teodolicie, ani goniometrze) konstrukcyjnie spektrometru.

5. Zwracając uwagę na „teodolitowy” rodowód dwóch typów spektroskopów Fraunhofera, jak dotąd w piśmiennictwie historyczno-naukowym nie próbowano rozwinąć odpowiedzi na pytanie o źródła i korzenie stosunkowo powszechnego wykorzystania w charakterze refraktometrów, a później spektroskopów, instrumentarium geodezyjnego. Prawdopodobnie w użyciu tego rodzaju przyrządów należy tłumaczyć przede wszystkim brakiem odpowiedniej aparatury z zakresu optyki fizycznej przy końcu XVIII i w pierwszych dwóch dekadach wieku XIX. Stąd sięgnięcie przez Fraunhofera po wyposażony w niezbędne elementy optyczno-pomiarowe (głównie koło podziałowe i lunetkę obserwacyjną) teodolit von Reichenbacha. W prowadzonych w tym samym okresie i zakrojonych na szeroką skalę niezależnych badaniach, w ramach Laplace’owskiego programu matematyzacji optyki fizycznej, także inni przyrodnicy zaczęli korzystać z możliwości, które dawały instrumenty geodezyjne. W taki sposób, z wykorzystaniem odpowiednio zmodyfikowanego koła repetycyjnego Lenoira, Jean-Baptiste Biot, François J.D. Arago i Étienne L. Malus prowadzili swoje badania refraktometryczne z gazami i kryształami. W ramach tych prac na szczególną uwagę zasługuje zwłaszcza idea nowego typu repetycyjnego goniometru odbiciowego, autorstwa Malusa z 1810 r., który, podobnie jak refraktometr-spektroskop Fraunhofera, zawierał poziome koło podziałowe i lunetkę obserwacyjną. Stąd mógł także służyć do celów refraktometrycznych. Dla historiografii spektroskopu optycznego inte-

resująca może się okazać znana z XIX-wiecznej literatury krystalograficznej opinia, iż rodzajem technicznego ulepszenia goniometru Malusa miał za trzydzieści lat stać się goniometr Babineta.

Na koniec chciałbym serdecznie podziękować za owocną wymianę poglądów na temat dziejów aparatury naukowej Panom: Rolfowi Riekherowi (Berlin), Dominique'owi Bernardowi (uniwersytet w Rennes), Thomasowi Greenslade'owi jun. (Kenyon College, Ohio), Jochenowi Hennigowi (Uniwersytet Humboldta, Berlin) i *last but not least* Krzysztofowi Maślance (PAN, Warszawa–Kraków).

Literatura

- Alder K. 2003: *The Measure of All Things. The Seven-Year Odyssey and Hidden Error That Transformed the World*, Free Press, New York et al.
- Angus-Butterworth L.M. 1958: *Glass* [w:] *A History of Technology*, t. 3, red. Ch. Singer et al., Clarendon Press, Oxford, s. 206–244.
- Arago F.J.D. 1839: [komunikat w imieniu J. Babineta], „Comptes Rendus”, t. 8, s. 710.
- Ball D.W. 2006: *Field Guide to Spectroscopy*, SPIE Press.
- Ball D.W. 2010: *Happy Sesquicentennial, Spectroscopy!*, „Spectroscopy”, nr 25, s. 16–19.
- Bennett J.A. 1984: *The celebrated phaenomena of colours: a history of the spectroscope in the nineteenth century*, Whipple Museum, Cambridge.
- Beudant F.S. 1841: *Cours élémentaire d'histoire naturelle. Mineralogie – Geologie*, Paris.
- Biot J.-B. 1816: *Traité de physique expérimentale et mathématique*, t. 3, Deterville, Paris.
- Biot J.-B., Arago F.J.D. 1806: *Mémoire sur les affinités des corps pour la lumière, et particulièrement sur les forces réfringentes des différens gaz*, „Mémoires de la classe des sciences mathématiques et physiques de l'Institute national de France”, nr 7, s. 301–385.
- Brachner A., Seeberger M. 1976: *Joseph von Fraunhofer. Ausstellung zum 150. Todestag*, Deutsches Museum, München.
- Buchwald J.Z. 1989: *The Rise of the Wave Theory of Light, Optical Theory and Experiment in the Early Nineteenth Century*, University of Chicago Press, Chicago.
- Bunsen R., Roscoe H. 1859: *Photochemische Untersuchungen. Zweite Abhandlung...*, „Annalen der Physik”, nr 100, s. 43–88.
- Burchard U. 1998: *History and development of the crystallographic goniometer*, „The Mineralogical Record”, nr 29, s. 517–583.
- Burns D.T. 1988: *Towards a definitive history of optical spectroscopy. Part II: Introduction of slits and collimator lens. Spectroscopes available before and just after Kirchhoff and Bunsen's studies*, „Journal of Analytical Atomic Spectrometry”, nr 3, s. 285–291.
- Cantor G. 1983: *Optics after Newton. Theories of Light in Britain and Ireland, 1704–1840*, Manchester University Press, Manchester.
- Chapman A. 1993: *The astronomical revolution* [w:] *Möbius and his Band*, red. J. Fauvel et al., Oxford University Press, Oxford, s. 35–77.
- Chen X. 2000: *Instrumental Traditions and Theories of Light. The Uses of Instruments in the Optical Revolution*, Kluwer, Dordrecht.
- Chen X. 2005: *Visual photometry in the early 19th: a 'good' science with 'bad' measurements* [w:] *Wrong for the Right Reasons*, red. J.Z. Buchwald, A. Franklin, Springer, Dordrecht, s. 161–183.

- Cooper J.T. 1831: *On the method of observing the fixe lines in the solar spectrum*, „Journal of the Royal Institution of the Great Britain”, nr 2, s. 289–292.
- Crookes W. 1856: *Photographic researches on the spectrum – The spectrum camera and some of its applications*, „Journal of the Photographic Society”, nr 2, s. 292–295.
- Daumas M. 1972: *Scientific Instruments of the 17th & 18th Centuries*, Praeger, New York.
- Deiman J.C. 2003: *Optics and optical instruments, 1600–1800* [w:] *Companion Encyclopedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences*, red. I. Grattan-Guinness, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, s. 1158–1164.
- Dingle H. 1963: *A 100 years of spectroscopy*, „British Journal for the History of Science”, nr 1, s. 199–216.
- Dörries M. 1994: *Balances, Spectroscopes, and the Reflexive Nature of Experiment*, „Studies in the History and Philosophy of Science”, nr 25, s. 1–36.
- Dujardin F. 1839: *Appareil destiné à observer les raies noires du spectre solaire*, „Comptes Rendus”, nr 8, s. 253–254.
- Dyck W. von 1912: *Georg von Reichenbach*, Selbstverlag des Deutschen Museums, München.
- Fox R. 1990: *Laplacian physics* [w:] *Companion to the History of Modern Science*, red. R.C. Olby et al., Routledge, London, s. 264–277.
- Frankel E. 1976: *Corpuscular optics and the wave theory of light: the science and politics of a revolution in physics*, „Social Studies of Science”, nr 6, s. 141–184.
- Fraunhofer J. 1817: *Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glassarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre*, „Denkschriften der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München”, nr 5, s. 193–226.
- Fraunhofer J. 1821: *Neue Modification des Lichtes durch gegenseitige Einwirkung und Beugung der Strahlen, und Gesetze derselben*, „Denkschriften der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München”, nr 8, s. 1–76.
- Fraunhofer J. 1823: *Kurzer Bericht von den Resultaten neuerer Versuche über die Gesetze des Lichtes, und die Theorie derselben*, „Annalen der Physik”, nr 74, s. 337–378.
- Grandeau L.N. 1863: *Instruction pratique sur l'analyse spectrale*, Mollet-Bachelier, Paris.
- Greenslade Th. jun., *Spectrometers*, <http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Optics/Spectrometers/Spectrometers.html> (dostęp on-line: 20.04.2011).
- Häfner R., Riekher R. 2003: *Die Pioniere der Sternspektroskopie: Die stellarspektroskopischen Untersuchungen von Fraunhofer (1816–1820) und Lamont (1836)* [w:] *Beiträge zur Astronomiegeschichte*, t. 6, red. W.R. Dick et al., Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a. Main, s. 137–165.
- Hakfoort C. 1995: *Optics in the Age of Euler: Conceptions of the Nature of Light, 1700–1795*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Harman P.M. 1982: *Energy, Force, and Matter: the Conceptual Development of Nineteenth-century Physics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hauksbee F. sen. 1709: *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects...*, R. Brugis, London, s. 175–180.
- Hearnshaw J.B. 1989: *The Analysis of Starlight. One Hundred and Fifty Years of Astronomical Spectroscopy*, Cambridge University Press, Cambridge et al.
- Hearnshaw J.B. 2009: *Astronomical Spectrographs and their History*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Heilbron J.L. 1993: *Weighing Imponderables and Other Quantitative Science around 1800*, University of California Press, Berkeley.
- Hennig J.B. 2003a: *Der Spektralapparat Kirchhoffs und Bunsens*, Deutsches Museum, Berlin et al.

- Hennig J. 2003b: *Bunsen, Kirchhoff, Steinheil and the Elaboration of Analytical Spectroscopy*, „Nuncius”, nr 2, s. 741–754.
- Hentschel K. 2002a: *Mapping the Spectrum: Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press, Oxford.
- Hentschel K. 2002b: *Spectroscopy or spectroscopies?*, „Nuncius”, nr 17, s. 589–614.
- Hentschel K. 2005: *Gaußens unsichtbare Hand: Der Universitäts-Mechanicus und Maschinen-Inspector Moritz Meyerstein. Ein Instrumentenbauer im 19. Jahrhundert*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Hooke R. 1665: *Micrographia...*, Jo. Martyn, and Ja. Allestry, London.
- Hong S. 2002: *Theories and experiments on radiation from Thomas Young to X Rays* [w:] *The Cambridge History of Science*, t. 5: *The Modern Physical and Mathematical Sciences*, red. M. Jo Nye, Cambridge University Press, Cambridge, s. 272–288.
- Hübner K. 2010: *Gustav Robert Kirchhoff: Das gewöhnliche Leben eines aussergewöhnlichen Mannes*, Verlag Regionalkultur, Ubstadt-Weiher-Heidelberg et al.
- Jackson M.W. 2000: *Spectrum of Belief. Joseph Fraunhofer and the Craft of Precision Optics*, The MIT Press, Cambridge, Mass.
- James F.A.J.L. 1983a: *The Establishment of Spectro-Chemical Analysis as a Practical Method of Qualitative Analysis, 1854–1861*, „Ambix”, nr 30, s. 30–53.
- James F.A.J.L. 1983b: *The Study of Spark Spectra*, „Ambix”, nr 30, s. 137–162.
- James F.A.J.L. 1984: *Of ‘Medals and Muddles’: the Context of the Discovery of Thallium: William Crookes’s Early Spectro-Chemical Work*, „Notes and Records of the Royal Society of London”, nr 39, s. 65–90.
- James F.A.J.L. 1985a: *The Creation of a Victorian Myth: the Historiography of Spectroscopy*, „History of Science”, nr 23, s. 1–24.
- James F.A.J.L. 1985b: *The Discovery of Line Spectra*, „Ambix”, nr 32, s. 53–70.
- James F.A.J.L. 1986: *Spectro-Chemistry and Myth. A Rejoinder*, „History of Science”, nr 24, s. 433–437.
- James F.A.J.L. 1988: *The Practical Problems of ‘New’ Experimental Science: Spectro-Chemistry and the Search for Hitherto Unknown Chemical Elements in Britain 1860–1869*, „British Journal for the History of Science”, nr 21, s. 181–194.
- James F.A.J.L. 1998: *Spectroscopy (Early)* [w:] *Instruments of Science: an Historical Encyclopedia*, red. R. Bud, D. J. Warner, Taylor & Francis Group, s. 563–565.
- Jensen W.B. 2005: *The Origin of the Bunsen Burner*, „Journal of Chemical Education”, nr 82, s. 1–2.
- Junkes J. 1962: *Hundert Jahre chemische Emissions-Spektralanalyse*, „Ricerche Spettroscopiche”, nr 5, s. 1–35.
- Kayser H. 1900: *Handbuch der Spektroskopie*, t. 1, Verlag von S. Hirzel, Leipzig.
- Kepler J. 2008: *Schriften zur Optik 1604–1611*, oprac. R. Rieker, Harri Deutsch Verlag, Frankfurt am Main.
- Kirchhoff G. 1859a: *Ueber die Winkel der optischen Axen des Aragonits für die verschiedenen Fraunhofer’schen Linien*, „Annalen der Physik”, nr 108, s. 567–575.
- Kirchhoff G. 1859b: *Ueber die Fraunhofer’schen Linien*, „Monatsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin”, s. 662–665.
- Kirchhoff G. 1859c: *Ueber das Verhältnis zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme*, „Monatsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin”, s. 783–787.
- Kirchhoff G. 1862: *Ueber einen neuen Satz der Wärmelehre*, „Verhandlungen des naturhistorisch-medizinischen Vereins zu Heidelberg”, nr 2, s. 16–23.

- Kirchhoff G. 1863: *Zur Geschichte der Spektral-Analyse und der Analyse der Sonnenatmosphäre*, „Annalen der Physik und Chemie”, nr 118, s. 94–111.
- Kirchhoff G., Bunsen R. 1860: *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen*, „Annalen der Physik und Chemie”, nr 110, s. 161–189.
- Kirchhoff G., Bunsen R. 1861: *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen – Zweite Abhandlung*, „Annalen der Physik und Chemie”, 113, s. 337–381.
- Laidler K.J. 2001: *The World of Physical Chemistry*, Oxford University Press, Oxford.
- Lequeux J. 2008: *François Arago, un savant généreux: physique et astronomie au XIX^e siècle*, EDP Sciences, Paris.
- Lerebours N.-M.-P, Secretan M. 1853: *Catalogue et Prix des Instruments*, Paris.
- Lockemann G. 1956: *The Centenary of the Bunsen Burner*, „Journal of Chemical Education”, nr 33, s. 20–22.
- Lockyer J.N. 1873: *The Spectroscope and its Application*, Macmillan, London.
- Lockyer J.N. 1887: *The Chemistry of the Sun*, Macmillan, London.
- Lowthorp J. 1699: *An Experiment of the Refraction of the Air Made at the Command of the Royal Society*, Mar. 28. 1699, „Philosophical Transactions of the Royal Society of London”, nr 21, s. 339–342.
- Maier C.L. 1981: *The Role of Spectroscopy in the Acceptance of the Internally Structured Atom, 1860–1920*, Arno Press, New York.
- Malus E. 1811: *Théorie de la double réfraction de la lumière dans les substances cristallines*, „Mémoires présentés à l’Institut des sciences par divers savants”, nr 2, s. 303–508.
- Malus E. 1817: *Description et usage d’un goniomètre répétiteur*, „Memoires de physique et de chimie de la Société d’Arcueil”, nr 3, s. 122–131.
- Manuel F.E. 1998: *Portret Izaaka Newtona*, tłum. S. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa.
- McGucken W. 1969: *Nineteenth-Century Spectroscopy. Development of the Understanding of Spectra 1802–1897*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore–London.
- McLeod H. (red.) 1912: *Royal Society of London of Catalogue of Scientific Papers 1800–1900, Subject Index, Volume III: Physics, part I: Generalities, Heat, Light, Sound*, Cambridge University Press.
- Méchain P.F.A., Delambre J.B.J. 1807: *Base du système métrique décimal...*, t. 2, Baudouin, Paris.
- Meyer H.J. 1885–1892: *Meyers Konversations-Lexikon. Eine Encyclopädie des allgemeinen Wissens*, t. 15, Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig.
- Meyerstein M. 1856: *Ueber ein Instrument zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreungsvermögens verschiedenen Medien*, „Annalen der Physik”, nr 98, s. 91–98.
- Meyerstein M. 1860: *Preisverzeichnis der astronomischen und physikalischen Werkstätte von M. Meyerstein, Universitäts-Instrumenten- und Maschinen-Inspector in Göttingen*, „Astronomische Nachrichten”, nr 53, s. 155–160, 263–272, 301–304.
- Miller W.A. 1862: *On spectrum analysis*, „Pharmaceutical Journal”, nr 3, s. 399–412.
- Mousson A. 1861: *Resumé de nos connaissances sur le spectre*, „Archives des Sciences Physiques et Naturelles”, nr 10, s. 221–258.
- Newton I. 1672: *A New Theory of Light and Colours*, „Philosophical Transactions of the Royal Society of London”, nr 6, s. 3075–3087.
- Newton I. 1728: *Optical Lectures Read in the Publick Schools of the University of Cambridge: Anno Domini, 1669*, Francis Fayram, London.
- Numbers R.L. (red.) 2010: *Wyrok na Galileusza i inne mity o nauce i religii*, tłum. M. Romanek, Centrum Myśli Jana Pawła II, Warszawa.

- Pfaff J.W. 1823: *Wiederholung von Dr. Fraunhofer's in München merkwürdigen optischen Versuchen, und einige electrisch-magnetische Bemerkungen*, „Annalen der Physik“, nr 73, s. 268–277.
- Powell B. 1836: *Observations for Determining the Refractive Indices for the Standard Rays of the Solar Spectrum in Various Media*, „Transactions of the Ashmolean Society“, nr 1, s. 1–24.
- Riekher R. 2009: *Fraunhofer und der Beginn der Astrospektroskopie*, „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin“, nr 103, s. 95–113.
- Rodzeń J. 2009a: *Znaczenie techniki w protonaukowej fazie rozwoju dyscyplin przyrodniczych [w:] Pogranicza nauki. Protonauka – Paranauka – Pseudonauka*, red. J. Zon, Wydawnictwo KUL, Lublin, s. 179–194.
- Rodzeń J. 2009b: *Félix Dujardina idea aparatu spektroskopowego*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki“, nr 2, s. 119–132.
- Rodzeń J. 2010a: *Nieznaną genezę spektroskopu*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce“, nr 46, s. 72–90.
- Rodzeń J. 2010b: *Pierwsze spektroskopy pryzmatyczne*, „Postępy Fizyki“, nr 61, s. 20–26.
- Römer H. 2005: *Theoretical Optics. An Introduction*, Wiley-VCH, Weinheim.
- Ronchi V. 1970: *The Nature of Light: an Historical Survey*, Heinemann, Harvard University Press, Cambridge.
- Roscoe H. 1869: *Spectrum Analysis: Six Lectures Delivered in 1868, before the Society of Apothecaries of London*, Macmillan, London.
- Roscoe H. 1900: *Bunsen Memorial Lecture*, „Transactions of the Chemical Society“, nr 77, s. 513–554.
- Saillard M. 1988: *Histoire de la spectroscopie. De la théorie de la lumière et les couleurs de I. Newton (1672) à la découverte de l'effet Zeeman (1897)*, Blanchard, Paris.
- Scheiner J. 1890: *Die Spectralanalyse der Gestirne*, W. Engelmann, Leipzig.
- Schellen H. 1870: *Die Spectralanalyse in ihrer Anwendung auf die Stoffe der Erde und die Natur der Himmelskörper*, Westermann, Braunschweig.
- Schellen H. 1872: *Spectrum Analysis in Its Application to Terrestrial Substances, and the Physical Constitution of the Heavenly Bodies: Familiarly Explained*, D. Appleton and Company.
- Shapiro A.E. 1993: *Fits, Passions and Paroxysms: Physics, Method and Chemistry and Newton's Theories of Colored Bodies and Fits of Easy Reflection*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Simms W. 1840: *On the Optical Glass Prepared by the Late Dr. Ritchie*, „Memoirs of the Royal Astronomical Society“, t. 11, s. 165–170.
- Smith R.W. 2002: *Remaking Astronomy. Instruments and Practice in the Nineteenth and Twentieth Centuries [w:] Cambridge History of Science: The Modern Physical and Mathematical Sciences*, t. 5, red. M.J. Nye et al., Cambridge University Press, Cambridge, s. 154–173.
- Sorrenson R. 2001: *Dollond & Son's Pursuit of Achromaticity, 1758–1789*, „History of Science“, t. 39, s. 31–55.
- Staudenmaier J.M. 1985: *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*, MIT Press, Cambridge (Mass.).
- Sutton M. 1986: *Spectroscopy, History and Myth: the Victorians Vindicated*, „History of Science“, nr 24, s. 425–432.
- Swan W. 1856: *On the Prismatic Spectra of the Flames of Compounds of Carbon and Hydrogen*, „Transactions of the Royal Society of Edinburgh“, nr 21, s. 411–429.
- Talbot W.H.F. 1826: *Some Experiments on Coloured Flames*, „Edinburgh Journal of Science“, nr 5, s. 77–81.
- Todd D., Angelo J.A. 2005: *A to Z of Scientists in Space and Astronomy*, Infobase Publishing, New York.

- Tuckermann A. 1888: *Index to the Literature of the Spectroscope*, Smithsonian Institute, Washington.
- Tuckermann A. 1902: *Index to the Literature of the Spectroscope, 1887–1900*, Smithsonian Institute, Washington.
- Turner G.L'E. 1969: *The History of Optical Instruments. A Brief Survey of Sources and Modern Studies*, „History of Science”, nr 8, s. 53–92.
- Turner G.L'E. 1998: *Scientific Instruments 1500–1900. An Introduction*, University of California Press, Berkeley *et al.*
- Tympas A. 2005: *Methods in the History of Technology* [w:] *Encyclopedia of 20th-century Technology*, t. 2, red. C.A. Hempstead, Routledge, New York–London.
- Valentin G.G. 1863: *Der Gebrauch des Spectrosopes zu physiologischen und ärztlichen Zwecken*, Winter, Leipzig.
- Westfall R.S. 1980: *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Wheatstone Ch. 1835: *On the Prismatic Decomposition of Electrical Light*, „Report of the British Association”, cz. 2, s. 11–12.
- Whiston W., Hauksbee F. jun. 1714: *A Course of Mechanical, Optical, Hydrostatical, and Pneumatical Experiments...*, London.
- Williams K.R. 2000: *A Burning Issue*, „Journal of Chemical Education”, nr 77, s. 558–559.
- Windelspecht M. 2003: *Groundbreaking Scientific Experiments, Inventions, and Discoveries of the 19th Century*, Greenwood Publishing Group.
- Wollaston W.H. 1802: *A Method of Examining Refractive and Dispersive Powers, by Prismatic Reflection*, „Philosophical Transactions of the Royal Society of London”, nr 92, s. 365–380.
- Wróblewski A.K. 1987: *Prawdy i mity w fizyce*, Iskry, Warszawa.
- Wróblewski A.K. 2007: *Historia fizyki – od czasów najdawniejszych do współczesności*, PWN, Warszawa.
- Zantedeschi F. 1856: *Descrizione di uno spettrometro e degli esperimenti eseguiti con esso, riguardanti i cambiamenti che si osservano nello spettro solare*, Sicca A., Padova.
- Zantedeschi F. 1860/1861: *Osservazioni critico-storiche intorno allo spettro luminoso, considerato come fotodoscopio od analizzatore il più squisito che abbia la scienza*, „Atti Istituto Veneto”, nr 6, s. 529–543.

Summary

Not all began with Bunsen and Kirchhoff. Unknown topics in the early history of the optical spectroscope (1810–1860)

The present paper tries to confront the widespread view according to which the inventors of the optical spectroscope were essentially two eminent German scholars: Robert W. Bunsen (1811–1899) and Gustav R. Kirchhoff (1824–1887). Extensive searches in the available published sources were performed. The main result is that this opinion appears to be wrong. It also clearly points to several other researchers who effectively constructed basic types of the spectroscope much earlier, already in the years 1810–1860.

Of course, there is no doubt that Bunsen's and Kirchhoff's groundbreaking research (1859–1861) led to the consolidation of a new research method, i.e. spectrochemical analysis, but not to the invention of the spectroscope itself. It is true that available sources concerning the history of the spectroscope are very few. Also very few studies have so far been devoted on this subject. We discuss this briefly.

Next, the paper presents the main historical types of the spectroscopic apparatus, in particular Joseph Fraunhofer's (1787–1826) three examples (two prismatic ones and one with diffraction grating) invented in the years 1810–1823; William Simms' (1793–1860) "two-telescopic" type with collimator (this type was actually implemented in the Bunsen-Kirchhoff's version of the apparatus). Then we describe a similar to Simm's version, Jacques Babinet's (1794–1872) "two-telescopic" reflecting goniometer (later in 1850s widely used in spectroscopic observations). We describe also Félix Dujardin's (1801–1860) spectroscope *à vision directe* (authorship of which is unduly attributed to Giovanni-Battista Amici, 1786–1863). Three other variants of the "two-telescopic" spectroscope constructed in 1850s by Francesco Zantedeschi (1797–1873), Moritz Meyerstein (1808–1882) and William Crookes (1832–1919) are also discussed. The apparatus of the latter scholar (the so-called *spectrum camera*) may be regarded as a prototype of the first spectrograph.

In the last part of the paper we raise the following question: how can we explain the fact that certain instruments, normally used in surveying (theodolites, repeating circles), often modified, were used in the scientific refractometric/spectroscopic research in the first half of the XIXth century?